

COMPORTAMIENTO DE VIGAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA,
DE PINUS ELLIOTTII, COMPOSTAS DE PARTES UNIDAS POR
EMENDAS DENTEADAS

EVANDRO TOLENTINO

ORIENTADOR: Prof. Dr. EDGAR V. MANTILLA CARRASCO

Aos meus pais, Job e Myrna

AGRADECIMENTOS

Ao professor Edgar V. Mantilla Carrasco pela orientação no decorrer do trabalho e pela amizade.

Aos professores Eduardo Chahud, José Márcio Fonseca Calixto e Gabriel de Oliveira Ribeiro, pelas valiosas sugestões oferecidas.

À srta Cláuzia Paiva Batista pela colaboração nos desenhos.

Aos srs., José Athaydes e Amílton E. Cota, pela realização dos ensaios e confecção dos corpos de prova.

Aos srs., Ramon Pereira da Silva, Leandro Tolentino e Regina Maris Resende, pela elaboração de programas para computador.

RESUMO

Uma das vantagens da madeira laminada colada, em relação à madeira maciça, é que durante o seu processo de fabricação, o fabricante não precisa restringir-se à produção de peças nas dimensões comerciais das tábuas. Como resultado disto, vigas de grande comprimento podem ser fabricadas. Para facilitar seu transporte, estas devem ser constituídas de várias partes a serem unidas por emendas denteadas. Neste trabalho será apresentado um estudo realizado a respeito do comportamento, no regime elástico, de vigas de madeira laminada colada, compostas de partes unidas por emendas denteadas, e submetidas à flexão. Para isto, vigas foram fabricadas e ensaiadas, para a determinação do módulo de elasticidade longitudinal. Estas mesmas vigas foram reensaiadas, após ter sido processado o corte e a colagem das emendas denteadas. Foi feita uma comparação entre os valores de módulo de elasticidade longitudinal, obtidos nestes dois tipos de ensaios, utilizando-se procedimentos estatísticos. Chegou-se à conclusão, a partir desta análise, que o módulo de elasticidade longitudinal de uma viga com emenda denteada, possui de 89 a 91% do valor do módulo de elasticidade longitudinal de uma viga sem emenda denteada. A espécie de madeira utilizada para a fabricação das vigas foi a *PINUS ELLIOTTII*. Devido ao excessivo número de nós presente nesta espécie, foi feito um estudo estatístico para avaliar o efeito dos nós na resistência à flexão e no módulo de elasticidade das vigas. Para tal, utilizou-se uma adaptação do método proposto por FREAS e SELBO. Como resultado deste estudo, foram obtidos dois coeficientes de minoração, para serem multiplicados pela resistência à flexão e pelo módulo de elasticidade de peças isentas de defeitos. O valor encontrado para os coeficientes foi 0,696 (para resistência à flexão) e 0,950 (para módulo de elasticidade).

ABSTRACT

Among the great advantages of glued laminated timber (glulam) beams is the no-commercial limitations of dimensions. As a result, beams of any length can be manufactured. In order to make easier the transportation process, these beams can be formed of segments which are connected by finger joints. This work presents a study about the elastic behavior of glulam beams fabricated with *PINUS ELLIOTTII*. The longitudinal modulus of elasticity was measured before and after finger joints were introduced, to verify their effects. The introduction of finger joints indicates a reduction of 9 to 11 % of the modulus of elasticity of the beams. The effects of high number of knots in the strength and stiffness of the beams was also analysed using an adaptation of FREAS and SELBO's method. The study indicated a reduction of 5 and 30 % in the stiffness and strength respectively

SUMÁRIO

SIMBOLOGIA

1 - GENERALIDADES	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Justificativa	1
1.3 - Objetivos	2
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 - Introdução	4
2.2 - Influência dos nós na resistência à flexão e no módulo de elasticidade de peças de madeira laminada colada	4
2.2.1 - Fator I_k/I_g	5
2.3 - Emendas denteadas	11
2.3.1 - Parâmetros geométricos dos dentes das emendas denteadas submetidas à tração	16
2.3.1.1 - Espessura da extremidade	16
2.3.1.2 - Inclinação	17
2.3.2 - Emendas denteadas submetidas à flexão	19
2.4 - Resumo do assunto abordado na revisão bibliográfica	20
2.5 - Contribuição ao conhecimento vigente pretendida com o presente trabalho	20
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 - Introdução	22
3.2 - Ensaios de caracterização da madeira	22
3.2.1 - Determinação da resistência ao cisalhamento na ligação colada	22
3.2.2 - Determinação da resistência à tração paralela às fibras da madeira	23
3.2.3 - Determinação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira	25
3.2.4 - Determinação do teor de umidade e da	

densidade aparente da madeira	27
3.3 - Ensaio de classificação das lâminas quanto à rigidez	29
3.3.1 - Cálculo dos módulos de elasticidade	31
3.4 - Modelos de ensaio	35
3.4.1 - Dimensões das vigas a serem submetidas à prensagem	36
3.4.2 - Disposição das lâminas na seção transversal das vigas	37
3.4.3 - Sistema de prensagem	38
3.4.3.1 - Pressão de aperto da prensa	39
3.4.3.1.1 - Conjunto 1	42
3.4.3.1.2 - Conjunto 2	47
3.4.3.1.3 - Conjunto 3	53
3.4.4 - Fabricação dos modelos a serem submetidos à pressão de aperto	57
3.4.5 - Dimensões dos modelos de ensaio	61
3.5 - Equipamentos	62
4 - ANÁLISE TEÓRICA	63
4.1 - Método da homogeneização para dimensionamento de vigas de madeira laminada colada	63
4.1.1 - Generalização da formulação de ETHINGTON	63
4.2 - Influência dos nós na resistência de peças de madeira laminada colada	66
4.2.1 - Determinação do tamanho do nó	68
4.2.2 - Determinação do fator I_k/I_g	70
4.2.2.1 - Registro de informações quanto ao tamanho do nó e sua localização na tábua	74
4.2.2.2 - Registro do valor da soma do tamanho dos nós (em unidades de 0,5 cm), dentro de intervalos de 30 cm	77
4.2.2.3 - Resumo dos valores totais obtidos no item anterior	81
4.2.2.4 - Cálculo do valor médio para a soma do tamanho dos nós, para a qualidade de madeira estudada	82
4.2.2.5 - Determinação da frequência normal de distribuição	82

4.2.2.6 - Determinação do fator I_k/I_g	83
4.3 - Método para dimensionamento da emenda denteada	84
4.3.1 - Dimensionamento da película adesiva submetida à torção	86
5 - PREVISÃO DE CARGA	88
5.1 - Previsão da carga a ser aplicada nos modelos de ensaio	88
5.1.1 - Dimensionamento	88
5.2 - Previsão de carga para a emenda denteada	93
5.2.1 - Dimensionamento	93
6 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL	97
6.1 - Introdução	97
6.2 - Modelos sem emendas denteadas	97
6.3 - Modelos com emendas denteadas	101
7 - RESULTADOS	104
7.1 - Valor da razão entre resistência à flexão, de uma viga em análise pela de uma viga isenta de defeitos, e entre módulo de elasticidade, de uma viga em análise pelo de uma viga isenta de defeitos	104
7.1.1 - Classificação das tábuas	104
7.1.2 - Tabelas	105
7.1.3 - Fator I_k/I_g	105
7.1.4 - Determinação do valor da razão entre resistência à flexão, de uma viga em análise pela de uma viga isenta de defeitos, e entre módulo de elasticidade, de uma viga em análise pelo de uma viga isenta de defeitos	107
7.2 - Módulos de elasticidade longitudinal obtidos para as vigas de ensaio	107
7.2.1 - Valores obtidos para os módulos de elasticidade longitudinal	108
7.3 - Ruptura das vigas com emendas denteadas	112
8 - ANÁLISE DOS RESULTADOS	114

8.1 - Módulos de elasticidade longitudinal obtidos nos ensaios	114
8.2 - Ruptura das vigas com emendas denteadas	118
8.3 - Comparação entre os valores de rigidez, teóricos e experimentais, obtidos para as vigas de ensaio	120
8.4 - Comparação dos valores de flechas, obtidos para as vigas nos ensaios de flexão, com as flechas admissíveis	121
9 - CONCLUSÕES	123
10 - BIBLIOGRAFIA	125
ANEXO	
Quadro 1	131
Quadro 2	135
Quadro 3	139
Quadro 4	149
Quadro 5	153
Quadro 6	155
Quadro 7	157
Gráficos	159

SIMBOLOGIA

- A = área da seção transversal dos corpos de prova ensaiados
- A_j = área inclinada lateral
- A_s = área efetivamente tracionada
- A_t = área de colagem de topo (localizada na extremidade do dente)
- b = largura da seção transversal; largura das tábuas
- d = altura da seção transversal
- \bar{d} = média da diferença entre valores (amostra)
- d_i = altura da seção transversal homogeneizada
- d_f = altura da fundação elástica
- d_{liq} = diâmetro líquido do parafuso
- D_m = densidade média da madeira
- E = módulo de elasticidade longitudinal
- \bar{EI} = rigidez da viga homogeneizada horizontalmente
- E_{wp} = módulo de elasticidade da madeira, paralelo às fibras
- E_{wn} = módulo de elasticidade da madeira, normal às fibras
- f_{cm} = resistência média à compressão paralela às fibras da madeira
- $f_{cm,5}$ = resistência média à compressão paralela às fibras da madeira, para o corpo de prova padrão (5 x 5 x 20)cm
- f_{tm} = resistência média à tração paralela às fibras da madeira
- F = fator de peso, que reflete o efeito da posição da lâmina dentro da peça, em relação à linha neutra
- h = altura total da viga
- h_i = espessura da lâmina i
- h_v = diferença entre a soma do tamanho dos nós para o limite de exclusão escolhido e \bar{x}_v
- I = momento de inércia
- \bar{I} = momento de inércia da seção transversal homogeneizada
- I_g = momento de inércia da seção total da peça
- I_k = soma dos momentos de inércia, das áreas de seção transversal, de todos os nós dentro de 6 in (15,24 cm)
- k = constante elástica da fundação; curvatura da viga
- l = comprimento do vão
- L = comprimento do dente
- m = tamanho do nó no nível 1%
- M = momento fletor
- M_{ch} = momento torçor aplicado pelo torquímetro

M_i = momento fletor provocado pelo carregamento real
 M_u = momento fletor provocado pelo carregamento unitário
 n = número total de lâminas presentes em uma seção transversal;
 número total de películas adesivas localizadas nas laterais
 da emenda denteada; número total de indivíduos (ou
 elementos) da amostra
 P = carga; passo dos dentes
 \bar{q} = média do quociente entre valores (amostra)
 $R(v; 2n)$ = valor de I_k/I_g para uma viga com $2n$ lâminas na seção
 transversal
 s = folga no fundo da emenda
 S = inclinação ou tangente do ângulo entre o eixo e a lateral do
 dente; desvio padrão da amostra
 S_c = superfície do plano de colagem
 $S_{(\bar{d}_i)}$ = desvio padrão da diferença entre valores (amostra)
 $S_{(\bar{d})}$ = desvio padrão da estimativa de d
 $S_{(\bar{q}_i)}$ = desvio padrão do quociente entre valores (amostra)
 $S_{(\bar{q})}$ = desvio padrão da estimativa de q
 St = seção transversal submetida à tração
 T = momento torçor
 t = posição da linha neutra; espessura da extremidade do dente;
 distribuição de Student
 t_0 = valor crítico de t (distribuição de Student)
 U = umidade da madeira
 \bar{x} = média da amostra
 \bar{x}_v = valor médio para a soma do tamanho dos nós, para as tábuas
 de qualidade v

α = ângulo entre o eixo e a lateral do dente
 β = espessura da extremidade do dente
 δ = deslocamento
 ϵ_x = deformação na direção x
 μ = média da população
 ν = número de graus de liberdade
 θ = ângulo de inclinação do dente da emenda denteada
 $\bar{\sigma}$ = resistência admissível à tração da madeira maciça
 σ_e = tensão de escoamento do aço
 $\bar{\tau}$ = resistência admissível ao cisalhamento no plano de colagem
 do dente

τ_m = resistência média ao cisalhamento na ligação colada

1 - GENERALIDADES

1.1 - *Introdução*

Uma das vantagens da madeira laminada colada, em relação à madeira maciça, é que durante o seu processo de fabricação, o fabricante não precisa restringir-se à produção de peças nas dimensões comerciais das tábuas. Como resultado disso, vigas de grande comprimento podem ser fabricadas. No exterior já foram fabricadas vigas para serem utilizadas em edificações, que proporcionaram vãos livres de 50 m.

1.2 - *Justificativa*

Um Engenheiro ao projetar uma viga de concreto tem de considerar, dentre outros fatores, não apenas o vão que ela vai possuir e os carregamentos a que ficará submetida, mas também como ela será fabricada, se fundida na sua posição definitiva na estrutura, ou se pré-moldada. Muitas vezes, no caso de peças pré-moldadas de concreto de grandes dimensões, opta-se por sua fabricação no próprio canteiro de obras. Vários fatores podem estar envolvidos nessa decisão, sendo que, dentre outros, podemos citar a eliminação do custo de transporte das peças para a obra.

No caso de uma peça de madeira laminada colada, ela deve ser produzida em um local onde as condições ambientais são controladas (umidade e temperatura). As tábuas devem ser classificadas antes de serem utilizadas na confecção das peças, para um melhor aproveitamento de suas resistências. A cola deve ser preparada, espalhada e curada no tempo e temperatura corretos, para que a ligação colada alcance sua devida resistência. O próprio processo de montagem exige, além de equipamentos especiais, técnicas especiais de fabricação, sendo que dentro desse processo estão envolvidas várias operações, que devem ser

executadas com o devido cuidado para que seja assegurada a alta qualidade do produto final. Visto que apenas dentro de fábricas devidamente construídas para isto é que todos esses requisitos podem ser atendidos, peças de madeira laminada colada não podem ser fabricadas no canteiro de obras, da maneira como se faz com certos tipos de pré-moldados de concreto, e sim em fábricas.

Para facilidade de transporte, torna-se necessária a fabricação de peças que sejam compostas de partes unidas por emendas denteadas. Isso facilitaria sobremaneira o seu transporte, pois elas seriam levadas desmontadas para a obra, e uma vez lá estando, cada parte seria unida ao seu devido encaixe, e colada, recompondo-se assim o comprimento original da peça.

Escolheu-se o *PINUS ELLIOTTII* para esta pesquisa por ser uma madeira de reflorestamento. As árvores dessa espécie apresentam a vantagem de possuir um crescimento bastante rápido. No entanto, estas também possuem um número muito grande de galhos, o que proporciona tábuas com um número excessivo de nós e, conseqüentemente, de baixa resistência.

O uso de estruturas de madeira laminada colada no Brasil ainda não está largamente difundido, se comparado com o dos países do hemisfério norte. Com esta pesquisa, espera-se que seja proporcionada uma contribuição ao conhecimento já existente a respeito de madeira laminada colada, incrementando-se seu uso aqui no Brasil, sendo que, quando isso vier a ocorrer, não haverá a necessidade de serem derrubadas as florestas naturais, pois toda a madeira a ser utilizada para esse tipo de estrutura virá de bosques de reflorestamento.

1.3 - Objetivos

O objetivo do presente trabalho foi verificar o comportamento, no regime elástico, de vigas de madeira laminada colada, compostas de partes unidas por emendas denteadas. Para isso vigas foram fabricadas e ensaiadas, para a determinação do módulo de

elasticidade longitudinal. As mesmas vigas foram reensaiadas, após ter sido processado o corte das emendas denteadas e foi feita uma comparação entre os valores de módulo de elasticidade longitudinal obtidos nesses dois tipos de ensaios. Para estes ensaios de flexão foram considerados dois valores para a relação l/d : igual a 14 e 21. A madeira utilizada para a fabricação das vigas foi a *PINUS ELLIOTTII*. As tábuas utilizadas foram classificadas em relação à rigidez. Devido ao excessivo número de nós nelas presente, foi feito um estudo estatístico para avaliar seu efeito na resistência das vigas. Foi também proposto um método para dimensionamento de emendas denteadas, submetidas ao tipo específico de solicitação presente nos ensaios de flexão.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - *Introdução*

O primeiro objetivo deste capítulo é apresentar o que está disponível atualmente, em termos de conhecimento científico, a respeito da influência dos nós na resistência à flexão de vigas de madeira laminada colada, bem como no seu módulo de elasticidade.

Como segundo objetivo, o capítulo visa a apresentar o que é conhecido atualmente a respeito de emendas denteadas, submetidas tanto à tração quanto à flexão.

No final do capítulo será apresentado um resumo do assunto abordado na revisão bibliográfica. Será também salientada a contribuição ao conhecimento vigente pretendida com este trabalho.

2.2 - *Influência dos nós na resistência à flexão e no módulo de elasticidade de peças de madeira laminada colada*

Segundo BOHANNAN e MOODY (1973), na primeira metade do ano de 1940, nos EUA, a produção de peças de madeira laminada colada, que vinha se desenvolvendo normalmente até então, atinge um ponto onde torna-se necessária a realização de pesquisas adicionais, para melhor definir o efeito dos fatores que influenciavam na resistência da madeira, para elementos estruturais desse tipo. Esta necessidade foi em consequência da 2^a Guerra Mundial, que fez com que o suprimento de madeira para construção ficasse escasso, e que fomentou o consumo de estruturas de madeira laminada colada. Acreditava-se que os procedimentos utilizados até então, para garantir uma alta resistência às peças de madeira laminada colada, fossem superconservativos. Tais procedimentos eram baseados no conhecimento vigente, sobre os efeitos dos nós em peças maciças. Segundo CHUGG (1964), os nós presentes em

peças maciças tinham de ter seu tamanho e sua posição dentro destas controlados, admitindo-se que as peças poderiam vir a ser utilizadas como componentes estruturais independentes (vigas biapoiadas) e fletidas em relação ao seu eixo de maior inércia. Se isso viesse a ocorrer, a presença de um nó na região tracionada da seção transversal diminuiria a resistência à flexão da peça.

Começou, então, a ser estudada a teoria de que um nó de um certo tamanho, presente em uma lâmina de uma peça laminada colada, teria um efeito diferente (do que era até então conhecido para peças maciças) na resistência à flexão dessa peça, dependendo da posição que a lâmina ocupasse em relação à linha neutra da seção transversal total. Foi suposto que este efeito combinado (tamanho do nó e posição em relação à linha neutra) poderia ser relacionado com o momento de inércia da seção transversal da viga.

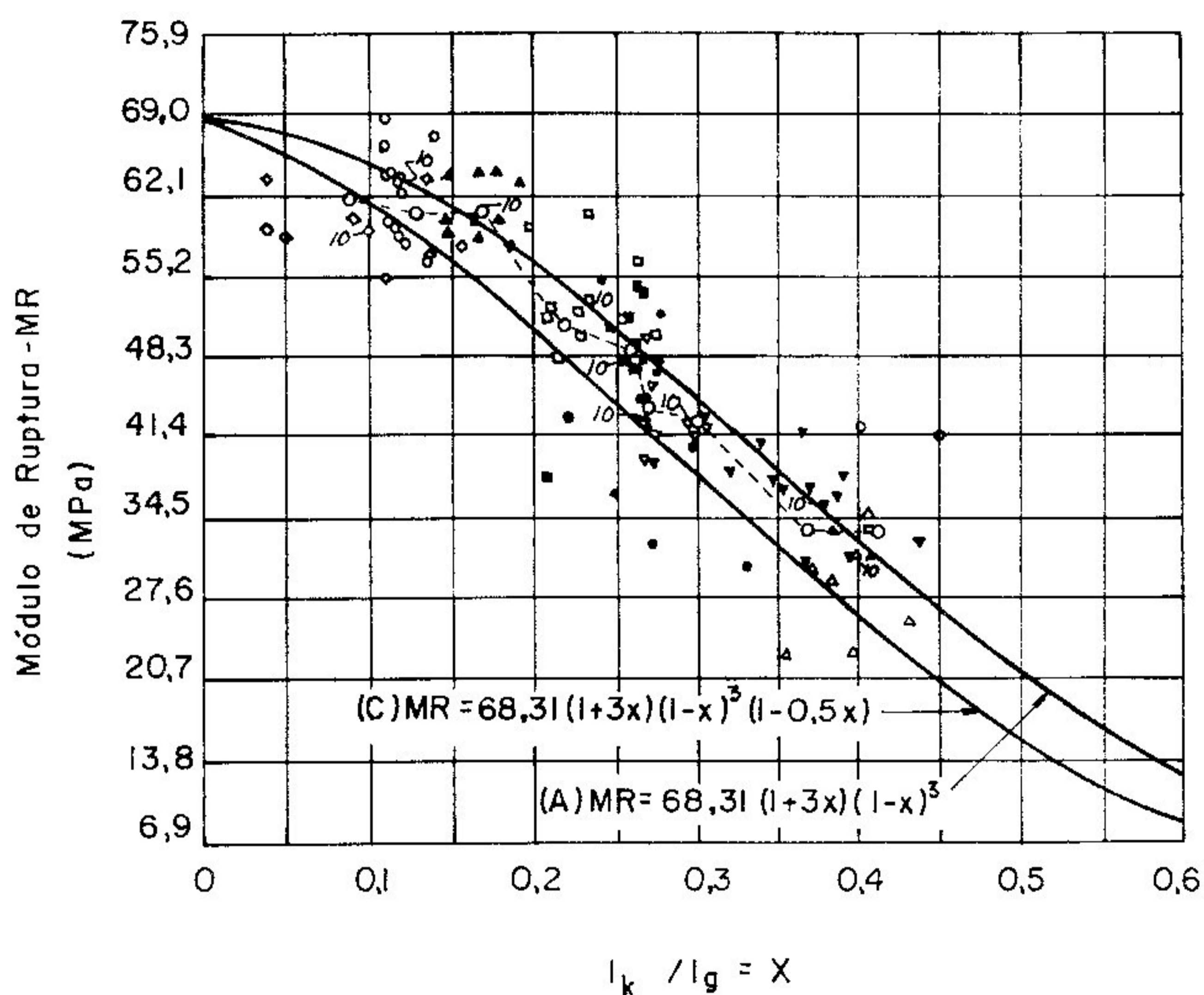
A resistência da peça de madeira laminada colada foi então relacionada com o fator adimensional I_k/I_g . Com relação a esse fator, I_k é a soma dos momentos de inércia, das áreas de seção transversal, de todos os nós dentro de 6 in (15,24 cm), a partir de uma única seção transversal da viga, e I_g é o momento de inércia da seção total da peça, ambos sendo calculados em relação à linha neutra da seção total.

A respeito do fator I_k/I_g , foram desenvolvidos estudos por vários pesquisadores, entre eles COTTINGHAM (1952), FREAS e SELBO (1954), BOHANNAN e MOODY (1973), que serão apresentados a seguir.

2.2.1 - Fator I_k/I_g

Um dos primeiros pesquisadores, de que se tem notícia, a relacionar o momento de inércia da área de seção transversal ocupada pelos nós, com a resistência de uma peça de madeira laminada colada, foi COTTINGHAM (1952). Este, após realizar ensaios de flexão em vigas de 12 in (30,48 cm) de altura, em cujas lâminas havia a presença de nós, relacionou a resistência à flexão obtida com o fator I_k/I_g .

Após isso, FREAS e SELBO (1954), no estudo que realizaram, foram mais além. Para esse estudo, foram realizados ensaios com 90 vigas laminadas horizontalmente, que continham as mais variadas concentrações de nós. Além disso, essas vigas possuíam 8 ou 17 lâminas na seção transversal. Para as vigas com 8 lâminas, existiam 3 tipos diferentes de larguras; já para as vigas com 17 lâminas, existiam 5 tipos diferentes de largura. O gráfico mostrado na figura 2.1 apresenta os resultados desses ensaios, onde se desejava conhecer a influência do fator I_k/I_g no módulo de ruptura.



LEGENDA

- vigas com 8 lâminas na seção transversal
- vigas com 8 lâminas na seção transversal
- △ vigas com 8 lâminas na seção transversal
- ▲ vigas com 17 lâminas na seção transversal
- ▽ vigas com 17 lâminas na seção transversal
- ▼ vigas com 17 lâminas na seção transversal
- vigas com 17 lâminas na seção transversal
- vigas com 17 lâminas na seção transversal
- ◇ vigas com 17 lâminas na seção transversal

Figura 2.1 - Variação nas propriedades de resistência com o fator I_k/I_g , para vigas laminadas horizontalmente, feitas com Douglas Fir. FREAS e SELBO (1954)

Para o gráfico apresentado na figura 2.1, cada ponto representa um valor obtido de um ensaio individual de uma viga. Cada círculo, unido por linhas tracejadas, representa o valor médio para um grupo de 10 vigas. A curva (A) passa pelos valores médios dos módulos de ruptura encontrados, sendo, portanto, uma curva média. Os pesquisadores descobriram que, para as tensões no limite de proporcionalidade e para o módulo de ruptura, a dispersão vertical dos pontos individuais aumentava com o aumento de I_k/I_g . A dispersão, mostrada no lado esquerdo do gráfico, foi provocada, principalmente, pela variabilidade própria da resistência da madeira. O aumento da dispersão vertical, à medida que o valor de I_k/I_g cresce, foi devido ao aumento do tamanho dos nós, que provoca um aumento da variabilidade do seu efeito. Essa variabilidade vinha sendo permitida para o material isento de defeitos, quando se desejava obter as tensões nominais de flexão. Entretanto, para se determinar as tensões de projeto de vigas laminadas coladas, certas considerações precisavam ser feitas a respeito da variabilidade do efeito dos nós. Conseqüentemente, para formar a curva (C), a curva média (A) foi diminuída de uma porcentagem que aumenta uniformemente de zero na borda esquerda a até 25% em $I_k/I_g = 0,5$. O abatimento da curva (C) em relação à curva (A), representa quase 1,25 vezes o desvio padrão estimado para o efeito do nó, como foi constatado em um estudo de variância. A equação da curva (A) é:

$$Y_1 = 68,31 (1 + 3x)(1 - x)^3, \quad (2.1)$$

onde Y_1 é o módulo de ruptura e $x = I_k/I_g$. A equação da curva (C) é:

$$Y_2 = 68,31 (1 + 3x)(1-x)^3(1-0,5x), \quad (2.2)$$

onde Y_2 é o módulo de ruptura. Dividindo-se ambos os lados da equação anterior pelo valor da resistência, correspondente à $I_k/I_g = 0$ (peça isenta de defeitos), obtem-se:

$$F_k = (1 + 3x)(1 - x)^3(1 - 0,5x), \quad (2.3)$$

onde F_k é a razão da resistência à flexão da peça em análise pela resistência à flexão de uma peça isenta de defeitos. A curva

correspondente à equação (2.3) é a curva de projeto para peças submetidas à flexão, e está apresentada na figura 2.2.

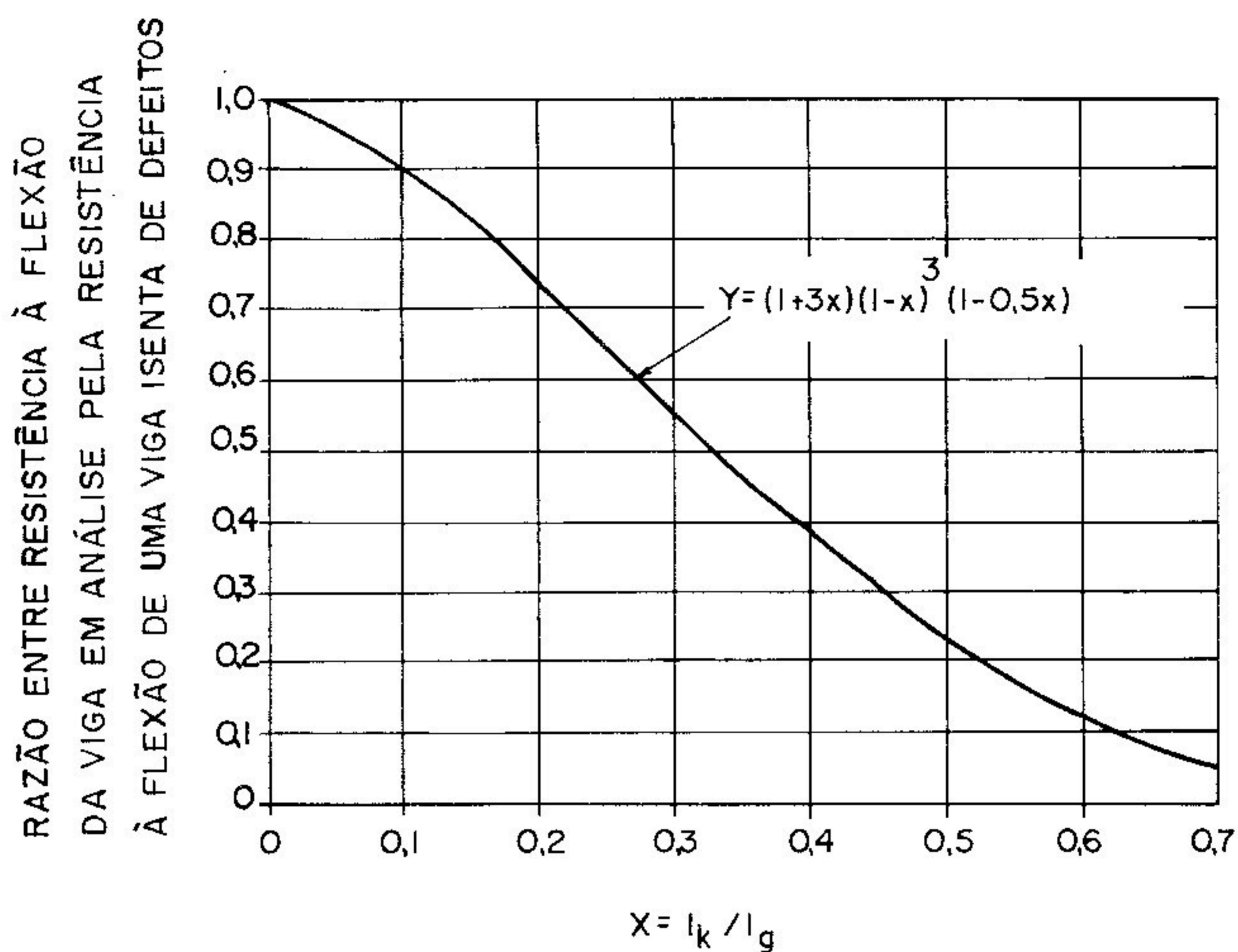
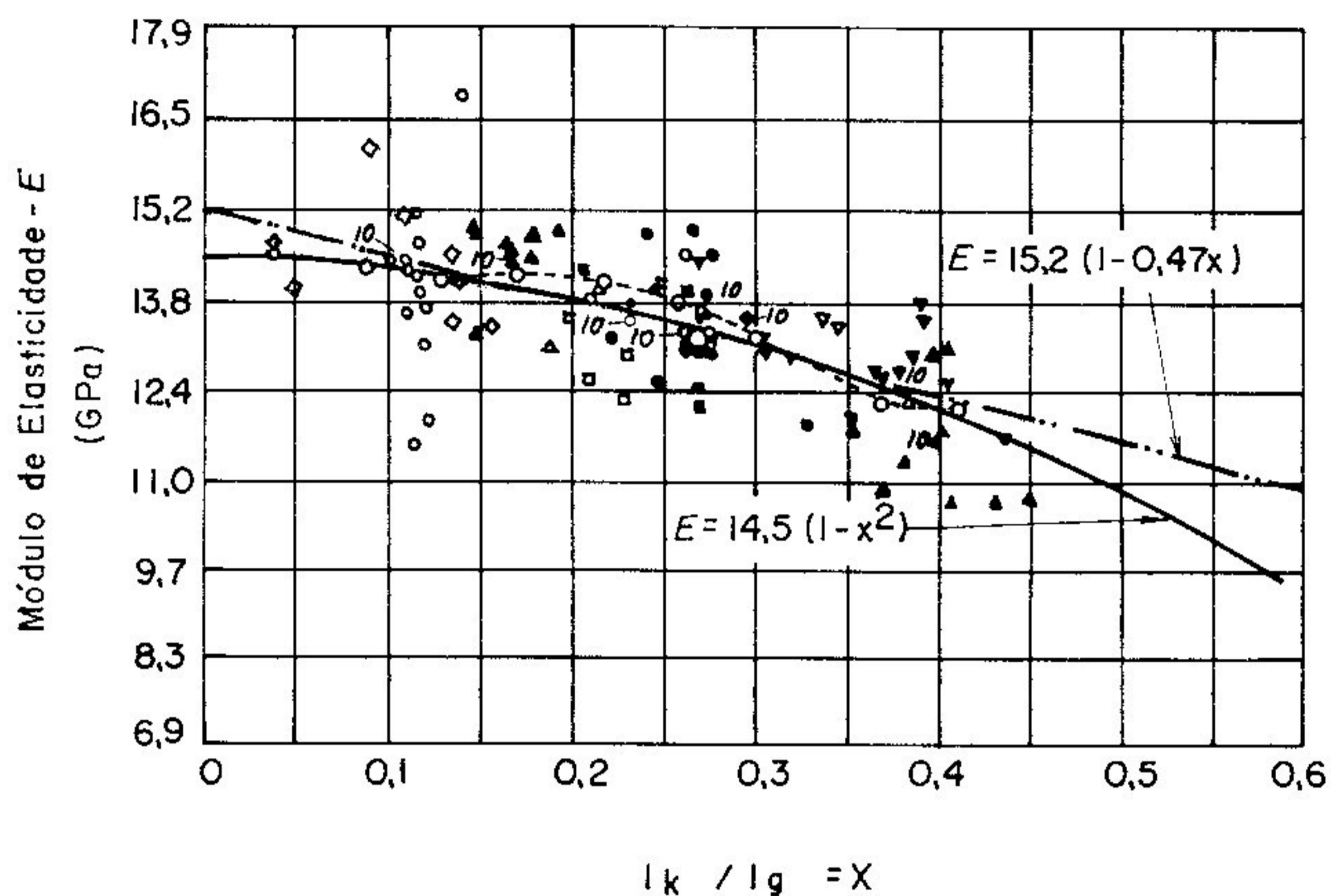


Figura 2.2 - Curva de projeto relacionando momento de inércia das áreas ocupadas por nós, presentes nas lâminas de vigas laminadas coladas, à razão entre a resistência à flexão da viga em análise pela resistência à flexão de uma viga isenta de defeitos. FREAS e SELBO (1954)

Os ensaios, realizados por esses pesquisadores, também visavam a descobrir a influência do fator I_k/I_g no módulo de elasticidade. Os resultados obtidos dos ensaios estão plotados no gráfico da figura 2.3.



LEGENDA

- vigas com 8 lâminas na seção transversal
- vigas com 8 lâminas na seção transversal
- △ vigas com 8 lâminas na seção transversal
- ▲ vigas com 17 lâminas na seção transversal
- ▽ vigas com 17 lâminas na seção transversal
- ▼ vigas com 17 lâminas na seção transversal
- vigas com 17 lâminas na seção transversal
- vigas com 17 lâminas na seção transversal
- ◇ vigas com 17 lâminas na seção transversal

OBS:

- 1) Os símbolos apresentados acima, quando acompanhados do algarismo 10, indicam média para o grupo;
- 2) Os círculos maiores, unidos uns aos outros por linhas tracejadas, representam valores médios para grupos de 10 vigas

Figura 2.3 - Variação do módulo de elasticidade com o fator I_k/I_g , para vigas laminadas horizontalmente, feitas com Douglas Fir. FREAS e SELBO (1954)

É evidente, pelo gráfico anterior, que o módulo de elasticidade decresce com o aumento de I_k/I_g . Uma regressão linear (mostrada na figura 2.3 como linha traço-dois pontos) produz ordenadas

de valores altos demais, para baixos valores de I_k/I_g . A curva apresentada foi então considerada uma representação aceitável das informações obtidas nos ensaios. A curva final obtida pelos pesquisadores, que relaciona o fator I_k/I_g com o módulo de elasticidade, está apresentada a seguir na figura 2.4.

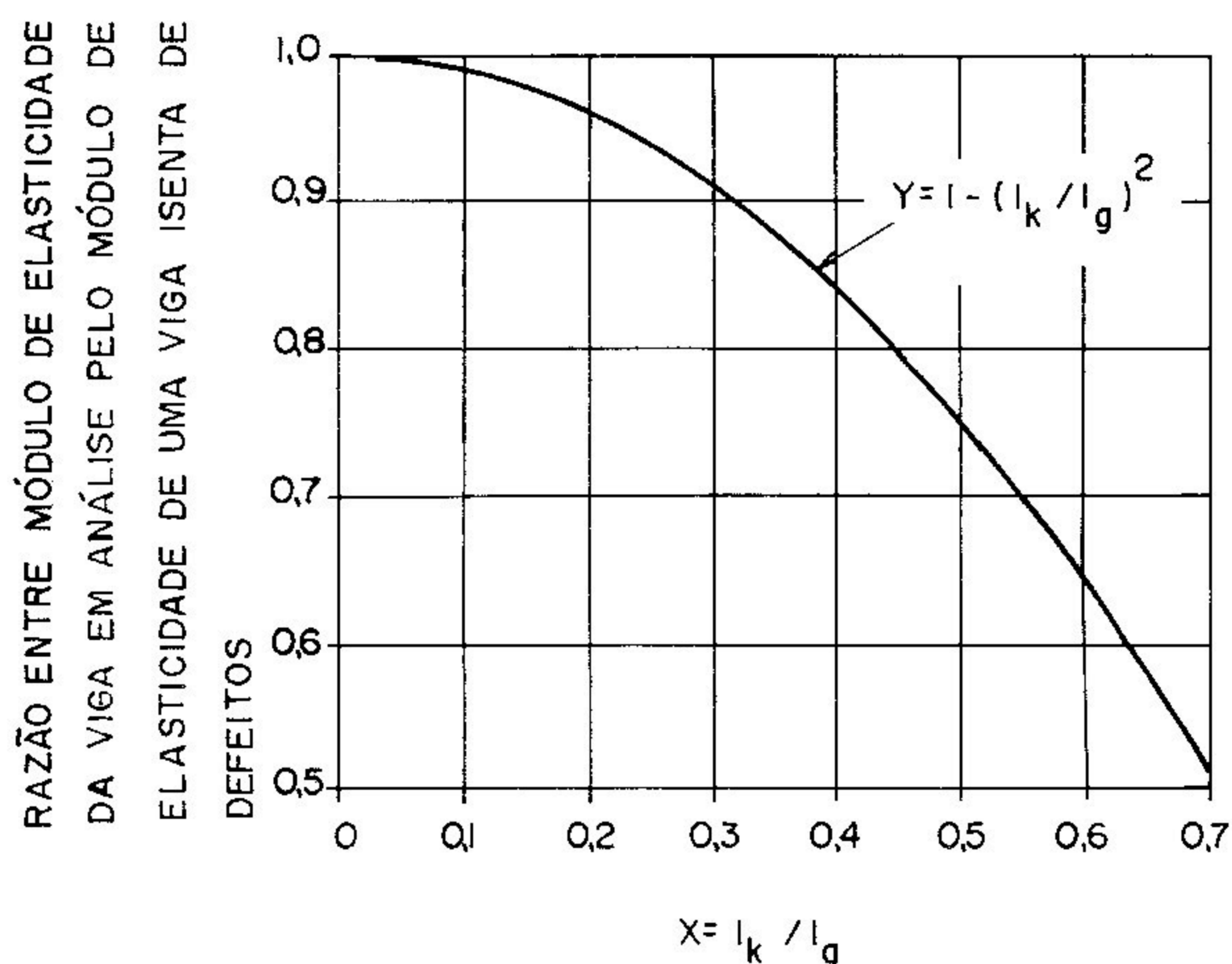


Figura 2.4 - Curva de projeto relacionando momento de inércia das áreas ocupadas por nós, presentes nas lâminas de vigas laminadas coladas, à razão entre o módulo de elasticidade da viga em análise pelo módulo de elasticidade de uma viga isenta de defeitos. FREAS e SELBO (1954)

Já se tinha consciência, então, da importância do fator I_k/I_g . Segundo FREAS (1956), a relação entre resistência à flexão e fator I_k/I_g sugeria a possibilidade da utilização de lâminas com os maiores nós na região central da seção transversal, e lâminas com menores nós nas regiões externas, sem que houvesse uma séria perda na resistência, se comparada com uma viga onde todas as lâminas apresentassem pequenos nós.

No entanto, era impraticável a construção de uma viga

laminada colada, onde só se saberia qual seria o seu valor de F_k [ver equação (2.3), na página 7], após todas as lâminas terem sido montadas e todos os nós posicionados e medidos. Segundo BOHANNAN e MOODY (1973), do ponto de vista da produção, era igualmente impraticável localizar os nós seletivamente, de acordo com o seu tamanho, em determinadas seções críticas da peça. Era necessário, então, um método para estimar a resistência de uma viga, para um posicionamento aleatório de lâminas.

Esse método foi proposto por FREAS e SELBO (1954), a partir de ensaios com 90 vigas, que continham variadas concentrações de nós. Foram registrados, para cada viga, o tamanho dos nós, sua localização, e o valor do momento de inércia das áreas ocupadas pelos nós dentro de intervalos de 1 ft (30,48 cm). A partir dos resultados, e utilizando-se um método estatístico, foram obtidas expressões para o cálculo do fator I_k/I_g , para um nível de probabilidade adequado.

Os pesquisadores WOLFE e MOODY (1981), em seu estudo, concluíram que a teoria sobre I_k/I_g oferecia uma boa precisão para uma estimativa do efeito dos nós na resistência à flexão de uma peça de madeira laminada colada, desde que lâminas especialmente selecionadas (de melhor qualidade) fossem utilizadas na região tracionada. Para tal estudo, os pesquisadores utilizaram um programa, de informática, para interpretar os dados sobre os nós, seguindo os procedimentos indicados por FREAS e SELBO (1954). A afirmação de que a utilização de lâminas de melhor qualidade, na região tracionada, proporcionava uma maior confiabilidade ao fator I_k/I_g estimado, também é feita no TIMBER CONSTRUCTION MANUAL (1985) e no WOOD HANDBOOK (1987).

2.3 - Emendas Denteadas

Emendas longitudinais serão necessárias quando não existirem lâminas de comprimento suficiente para compor a peça a qual se deseja construir. Existem três tipos de emendas longitudinais: de topo, biseladas e denteadas. Segundo CHUGG (1964), até o final da década de 50, as emendas longitudinais denteadas eram utilizadas para

propósitos não estruturais. O mesmo é afirmado por SCHARFETTER e PIZZI (1980). De acordo com estes pesquisadores, a razão para a não-utilização de emendas denteadas para propósitos estruturais, naquele tempo, era a falta de informações a respeito da sua resistência.

Apesar de que naquele tempo ainda não se soubesse muito a respeito da resistência das emendas denteadas, sabia-se que com estas havia um maior aproveitamento do material, se comparadas com as emendas biseladas. Foi isso que MADSEN e LITTLEFORD (1962) afirmaram, tomando como base o que acontecia com as indústrias no Canadá. De acordo com esses pesquisadores, uma emenda biselada com inclinação de 1/12 deveria possuir o comprimento de 19,5 in (49,53 cm), para uma lâmina com 2 in (5,08 cm) de espessura. Isso significava uma perda de material utilizável na ordem de 12% para lâminas de 14 ft (4,27 m) de comprimento.

Já CHUGG (1964) estimava que, se no Canadá fossem utilizadas as emendas denteadas em vez das biseladas, seriam economizados 1.500.000 ft (457.200 m) de madeira, no valor de US\$ 150.000,00. Se a produção dos EUA também fosse considerada nesse cálculo, o valor de madeira economizada seria de US\$ 1000.000,00. Ainda, segundo CHUGG (1964), esses valores estimados poderiam aumentar ainda mais, se fossem considerados os baixos custos de fabricação da emenda denteada.

Os pesquisadores DUTKO, STELLER e KOZELOUH (1980) afirmaram o mesmo a respeito do alto consumo de material exigido para a fabricação da emenda biselada. Já MORKVED (1980) questiona a rentabilidade mais alta das emendas denteadas. Ele afirma que o equipamento utilizado para produzir esse tipo de emenda sofre pesadas depreciações, especialmente se for utilizado por apenas meio expediente.

De acordo com ELBY e ASCE (1968), a resistência das emendas denteadas passa então a ser estudada a partir do final da década de 50. Segundo eles, em 1957, a Rilco Laminated Products (esta firma torna-se uma divisão da Weyerhaeuser Company a partir de 1960)

inicia um projeto para desenvolver uma emenda denteada que alcançasse de 80 a 90% da resistência de uma lâmina isenta de defeitos. O objetivo óbvio era substituir as emendas biseladas de inclinação 1/10 e 1/12 e economizar acima de 90% da madeira perdida ao se fazer esse tipo de emenda.

A partir daí, vários estudos foram realizados a respeito da resistência das emendas denteadas. Passa a ser estudada, também, a influência de certos parâmetros geométricos dos dentes (comprimento, largura e a inclinação) na resistência da emenda denteada. O pesquisador FREAS (1962) apresenta o resultado de seu estudo, onde foram especificadas as eficiências de vários tipos de emendas denteadas, solicitadas à tração e à compressão. Outros pesquisadores também divulgam os seus trabalhos a respeito do mesmo tema, tal como fazem MADSEN e LITTLEFORD (1962) e SELBO (1963).

Portanto, já se tinha consciência da influência dos parâmetros geométricos dos dentes na resistência da emenda denteada, mas até então ninguém havia proposto um método para a determinação daqueles. O primeiro a propor isso foi SELBO (1963). Em seu estudo, foram definidos os seguintes parâmetros:

- S = inclinação ou tangente do ângulo entre o eixo e a lateral do dente;
- P = passo dos dentes;
- t = espessura da extremidade do dente;
- L = comprimento do dente.

Para uma melhor compreensão desses parâmetros geométricos, será apresentada a figura 2.5.

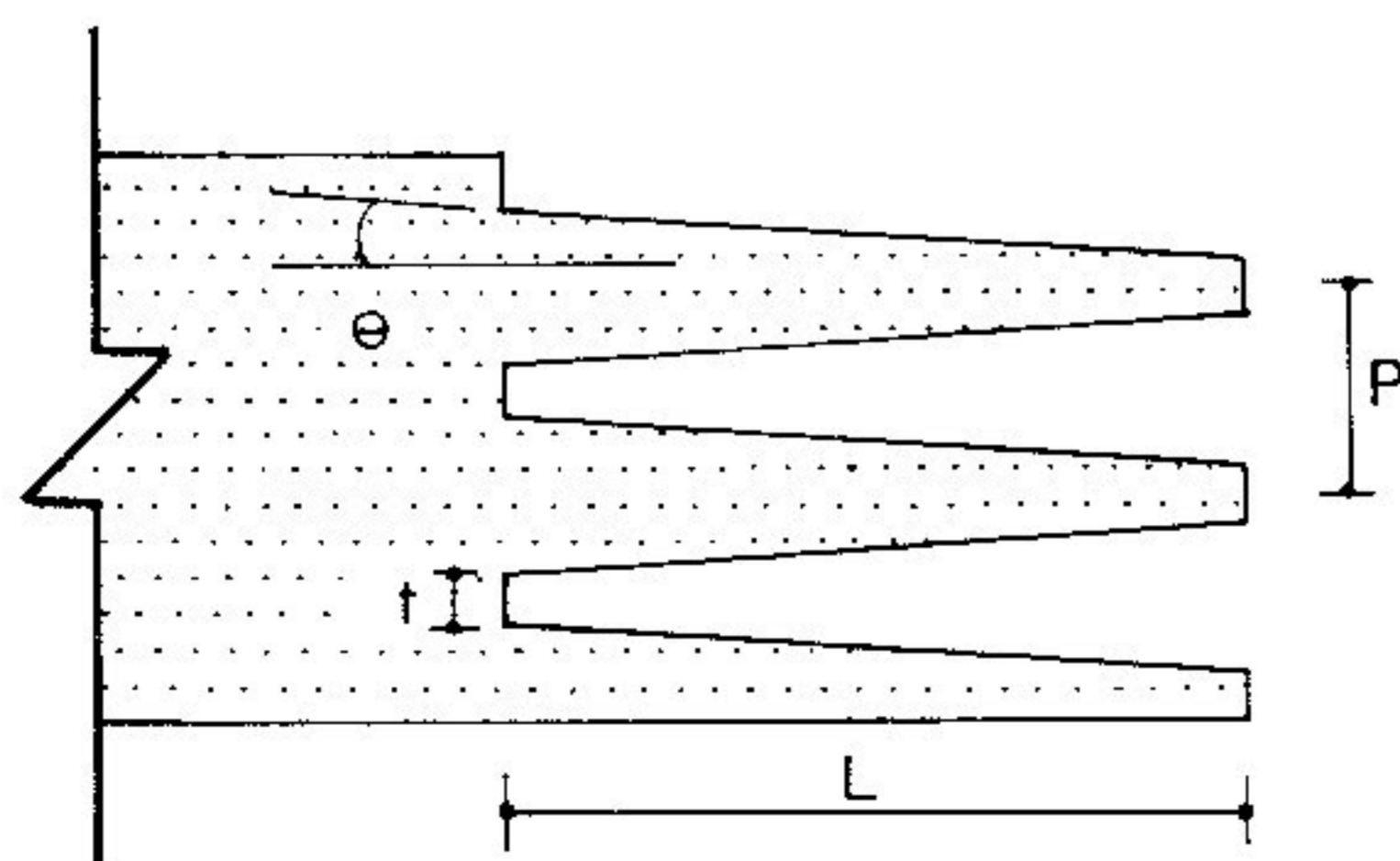


Figura 2.5 - Parâmetros geométricos dos dentes. SELBO (1963)

Outros parâmetros definidos no estudo de SELBO, também importantes na resistência da emenda denteada, foram:

- At = área de colagem de topo (localizada na extremidade do dente);
- As = área efetivamente tracionada;
- Aj = área inclinada lateral.

Para uma seção transversal de $1 \times 1 \text{ in}^2$ ($2,54 \times 2,54 \text{ cm}^2$), eles poderiam ser expressos como:

$$\left. \begin{aligned} S &= \frac{0,5P - t}{L} ; \\ At &= \frac{t}{\bar{P}} ; \\ As &= 1 - \frac{t}{\bar{P}} ; \\ Aj &= \frac{2L}{\bar{P}} . \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Obs.: os valores, que são decorrentes das equações acima, se referem a uma unidade de área.

Uma nova proposta para determinação dos parâmetros geométricos dos dentes foi apresentada pelo CAHIERS DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS (1973). Neste estudo, foram definidos os seguintes parâmetros:

- α = ângulo entre o eixo e a lateral do dente;
- P = passo dos dentes;
- β = espessura da extremidade do dente;
- L = comprimento do dente;
- s = folga no fundo da emenda.

Obs.: de acordo com VAN ZYL e BURGER (1980), s tinha de ser menor que $0,08L$ ou 4 mm (o que tivesse o menor valor entre os dois).

Para uma melhor compreensão dos parâmetros, será apresentada a figura

2.6.

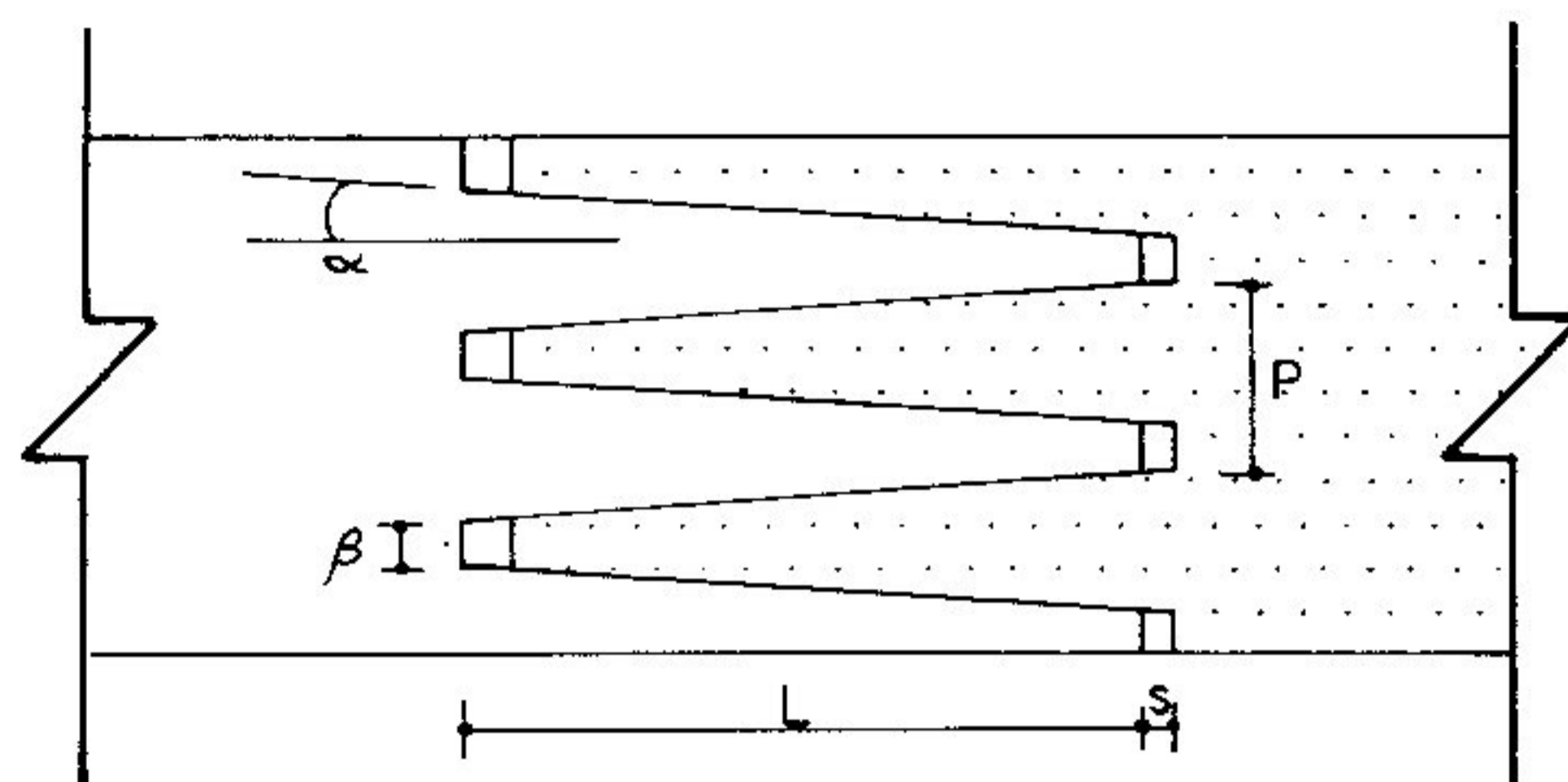


Figura 2.6 - Parâmetros geométricos dos dentes. CAHIERS DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS (1973)

A expressão para cálculo da emenda denteada, que constava do estudo apresentado pelo CAHIERS DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS, foi obtida igualando-se a força de cisalhamento no plano de colagem de um dente com a força de tração da madeira maciça. A expressão é a seguinte:

$$\bar{\tau} \times Sc \geq \bar{\sigma} \times St, \quad (2.5)$$

onde $\bar{\tau}$ = resistência admissível ao cisalhamento no plano de colagem do dente;

Sc = superfície do plano de colagem;

$\bar{\sigma}$ = resistência admissível à tração da madeira maciça;

St = seção transversal submetida à tração.

As expressões matemáticas para os parâmetros apresentados acima, são:

$$\left. \begin{aligned} Sc &= 2(L - s); \\ St &= P - 2\beta; \\ \text{tg } \alpha &= \frac{0,5P - \beta}{L}. \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

A respeito dos parâmetros geométricos das emendas denteadas, foram estudadas todas as possibilidades de influência que

aqueles poderiam exercer na resistência destas. Deve ser lembrado, no entanto, que tais estudos foram feitos para lâminas submetidas à tração.

O que foi estudado a respeito dos parâmetros geométricos de emendas denteadas submetidas à tração, e também sobre emendas denteadas submetidas à flexão, será apresentado nos itens a seguir.

2.3.1 - *Parâmetros geométricos dos dentes das emendas denteadas submetidas à tração*

2.3.1.1 - *Espessura da extremidade*

Segundo RICHARDS (1963), por algum tempo parecia ser óbvio que o fator limitante para projetos de novas emendas longitudinais era o efeito de enfraquecimento provocado pelas extremidades dos dentes. Parecia que o único meio de escapar desse problema seria produzir dentes cujas extremidades terminassem em cunha.

Já CHUGG (1964) afirma que, para ser proporcionada uma resistência maior à emenda denteada, o número de dentes deveria ser mantido no valor mínimo. Segundo ele, o motivo para isso era que as extremidades dos dentes se constituíam em sérios pontos de enfraquecimento.

Praticamente o mesmo é afirmado pelo WOOD HANDBOOK 72 (1987), ao dizer que as extremidades dos dentes eram essencialmente emendas de topo em série, que reduziam a efetividade das emendas denteadas e eram uma fonte de concentração de tensões. Os pesquisadores DUTKO, STELLER e KOZELOUH (1980) também concordaram com essa afirmação.

Com relação à espessura da extremidade do dente, RICHARDS (1963) afirma que espessuras iguais a 0,005 in (0,127 mm),

0,016 in (0,406 mm) e 0,031 in (0,787 mm) haviam sido testadas, mas que com exceção da espessura de 0,031 in (0,787 mm), as outras não rendiam uma alta produção nas linhas de corte, além de serem uma fonte de concentração de tensões e de perda de resistência. O WOOD HANDBOOK 72 (1987) afirma que a espessura da extremidade do dente nunca deveria ser superior a 0,031 in (0,787 mm), e que espessuras entre 0,015 in (0,381 mm) e 0,031 in (0,787 mm) eram o mínimo possível de ser obtido em máquinas normais de corte.

Passou-se então a estudar o enfraquecimento que a extremidade do dente provocava na emenda denteada. Para isso foi definido que grau de enfraquecimento era igual à razão entre a espessura da extremidade do dente pelo passo deste (t/P , utilizando-se a notação inglesa). De acordo com KOLB (1980), o melhor perfil era aquele que possuísse o menor grau de enfraquecimento. A norma DIN 68-140 (1971) fixou quais deveriam ser os valores máximos para esse grau de enfraquecimento. Os valores deveriam ser os seguintes:

- * $t/P \leq 0,18$, para peças submetidas a fortes cargas;
- * $t/P \leq 0,25$, para molduras de janelas, portas, móveis, etc.

2.3.1.2 - *Inclinação*

O pesquisador SELBO (1963) realiza um estudo a respeito da inclinação dos dentes e publica os resultados. De acordo com ele, a área inclinada nas laterais do dente poderia ser definida como área efetivamente colada, visto que a área colada de topo na extremidade dos dentes nem sempre poderia fazer o contato apropriado com o seu respectivo encaixe fêmea, contribuindo apenas com uma pequena parte na resistência da emenda.

Ele acrescenta que, se os dentes possuíssem uma inclinação muito acentuada, o comportamento da emenda aproximar-se-ia da colagem de topo. Por outro lado, à medida que a inclinação se aproximasse de zero, o comportamento da emenda aproximar-se-ia da colagem paralela às fibras, o qual sempre proporcionou uma maior

resistência para a maioria das espécies de madeira.

Entretanto, o pesquisador salienta que tal inclinação não resultaria em uma emenda denteada mais forte, independentemente do comprimento dos dentes, porque, à medida que o ângulo de inclinação se aproximasse de zero, a área colada de topo na extremidade do dente aproximar-se-ia de 50% da seção transversal da peça. Quando isso acontecesse, o máximo de resistência que a emenda poderia alcançar seria aproximadamente 50% da resistência à tração da madeira (assumindo-se que não existisse nenhuma concentração de tensão na extremidade dos dentes). Com uma certa inclinação das laterais do dente, a área colada de topo na extremidade daquele poderia ser reduzida para uma pequena fração da seção da ligação, proporcionando uma maior resistência à tração para a ligação. À medida que a espessura da extremidade do dente se aproximasse de zero e sua inclinação e comprimento fossem tais que proporcionassem uma área colada adequada, a resistência da emenda deveria teoricamente aproximar-se da resistência à tração da madeira, descontando-se as perdas de resistência causadas pelo efeito de concentração de tensões que provavelmente ocorreriam na extremidade dos dentes.

O pesquisador conclui, portanto, que tanto uma inclinação acentuada quanto uma inclinação muito pequena não conduziriam a uma resistência máxima da emenda. Seria necessário, então, algum valor médio para produzir a máxima resistência.

A respeito do limite nos quais os valores das inclinações poderiam variar, o pesquisador CHUGG (1964) diz que inclinações menores que $1/10$ ou $1/12$ não aumentavam significativamente a resistência, mas, se fossem mais inclinadas que isso, a resistência seria reduzida. Já o CAHIERS DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS (1973) afirma que inclinações entre $1/8$ e $1/12$ produziriam ótimos resultados quanto à resistência. Segundo eles, quanto maiores fossem as inclinações, menores seriam as resistências mecânicas da emenda. No entanto, os pesquisadores afirmam que na prática as inclinações não deveriam ser menores que $1/10$, pois a fabricação do dente complicar-se-ia consideravelmente. Os pesquisadores DUTKO, STELLER e KOZELOUH (1980) afirmam que a inclinação não poderia ser superior a $1/8$.

2.3.2 - Emendas denteadas submetidas à flexão

Em uma peça submetida à flexão, as emendas denteadas podem ser vistas em planta ou na lateral da peça. No primeiro caso, são denominadas emendas horizontais e, no segundo, são denominadas emendas verticais. Certos pesquisadores puseram-se a estudar o efeito que esses dois tipos de orientação teriam na resistência da emenda. HÁJEK (1980) investigou qual tipo de corpo de prova teria uma melhor capacidade para detectar imperfeições na película adesiva. Sua conclusão foi que se uma lâmina com emendas denteadas horizontais fosse fletida em relação ao seu eixo de menor inércia, a sua resistência à flexão seria maior do que se esta mesma lâmina fosse fletida em relação ao seu eixo de maior inércia. O motivo para isso, segundo HÁJEK, era que, ao se fletir a lâmina em relação ao seu eixo de maior inércia, qualquer imperfeição, que existisse nos dentes próximos às bordas da lâmina, provocaria uma diminuição da resistência à flexão.

RAKNES (1980) afirma praticamente o mesmo em seu estudo. Ele alega que o motivo da baixa resistência de uma lâmina com emendas denteadas horizontais, fletida em relação ao seu eixo de maior inércia, pode ser atribuído à influência do último dente (aquele localizado na região tracionada da lâmina), que pode induzir à ruptura, especialmente se for mal colado ou se terminar em colagem de topo.

Portanto, já se sabia que a emenda denteada horizontal apresentava uma maior resistência à flexão que a emenda denteada vertical (para peças fletidas em relação ao seu eixo de menor inércia). No entanto, tal preocupação com relação à resistência das vigas era inexistente, pois estas eram construídas de modo que as lâminas, que possuíssem emendas denteadas, nunca ficassem superpostas em uma mesma seção transversal. Tal superposição era desaconselhável por produzir na peça uma região enfraquecida.

Vários pesquisadores estudaram o enfraquecimento provocado pela superposição de emendas denteadas em uma mesma seção

transversal. No entanto, o primeiro a estudar o comportamento de vigas, compostas de partes unidas por emendas denteadas, submetidas à flexão, foi SZÜCS (1991). Para seu estudo, foram ensaiadas 6 vigas, sendo 3 sem emendas denteadas, e 3 com emendas denteadas (as emendas denteadas, aqui citadas, encontravam-se em duas regiões na porção central da viga, e superpostas em relação a seção transversal).

Como resultado, esse pesquisador comprovou que os módulos de elasticidade das vigas, sem e com emendas denteadas, eram praticamente iguais, e que o módulo de ruptura, obtido para as vigas com emendas denteadas, era bem menor que aquele obtido para vigas sem emendas denteadas.

2.4 - Resumo do assunto abordado na revisão bibliográfica.

A revisão bibliográfica mostra claramente que, para o caso de emendas denteadas submetidas à tração, já foram largamente estudados todos os fatores que exercem influência na sua resistência. No caso específico dos parâmetros geométricos dos dentes, os autores indicam valores ótimos que, se respeitados, proporcionarão uma maior resistência às emendas denteadas.

No caso de emendas denteadas superpostas em uma mesma seção transversal, SZÜCS (1991) deu uma grande contribuição ao conhecimento até então vigente, ao estudar o comportamento de vigas submetidas à flexão, compostas de partes unidas por emendas desse tipo. No entanto, a pesquisa deve prosseguir, para que novos parâmetros possam ser estudados.

2.5 - Contribuição ao conhecimento vigente pretendida com o presente trabalho

O presente trabalho visa o estudo de vigas de madeira laminada colada, submetidas à flexão, e compostas de partes unidas por

emendas denteadas. Diferentemente do que foi estudado por SZÜCS (1991), as mesmas vigas serão estudadas, tanto sem emendas como com emendas denteadas. A partir dos resultados obtidos, será feita uma análise estatística.

Será também proposto um método para dimensionamento da emenda denteada submetida à flexão. A validade desse método será verificada levando-se as vigas à ruptura, e comparando-se os resultados obtidos com os calculados. Será feita uma análise estatística a partir desses resultados.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - *Introdução*

Certos critérios foram seguidos para a escolha dos materiais que seriam utilizados na parte experimental desta pesquisa.

A espécie de madeira utilizada foi a *PINUS ELLIOTTII*. As tábuas foram submetidas a uma classificação visual ao serem compradas. Somente foram adquiridas para serem utilizadas na pesquisa as que visualmente apresentavam uma qualidade superior.

O local onde as tábuas foram armazenadas era seco, sendo que elas não entravam em contato direto com o chão.

O adesivo apropriado ao tipo de madeira foi escolhido com base no estudo apresentado por MANTILLA, CARRASCO (1989). Nesse estudo foram definidos, para várias espécies de madeira, o tempo de penetração do adesivo e níveis ideais de pressão, para que fosse conseguido um efetivo aumento na resistência da ligação colada.

3.2 - *Ensaio de caracterização da madeira*

3.2.1 - *Determinação da resistência ao cisalhamento na ligação colada*

O valor médio da resistência ao cisalhamento, paralelo às fibras na ligação colada, foi determinado utilizando-se corpos de prova do tipo propostos por MANTILLA, CARRASCO (1989) em sua tese de Doutorado. Na figura 3.1 está apresentado um desenho do corpo de prova utilizado.

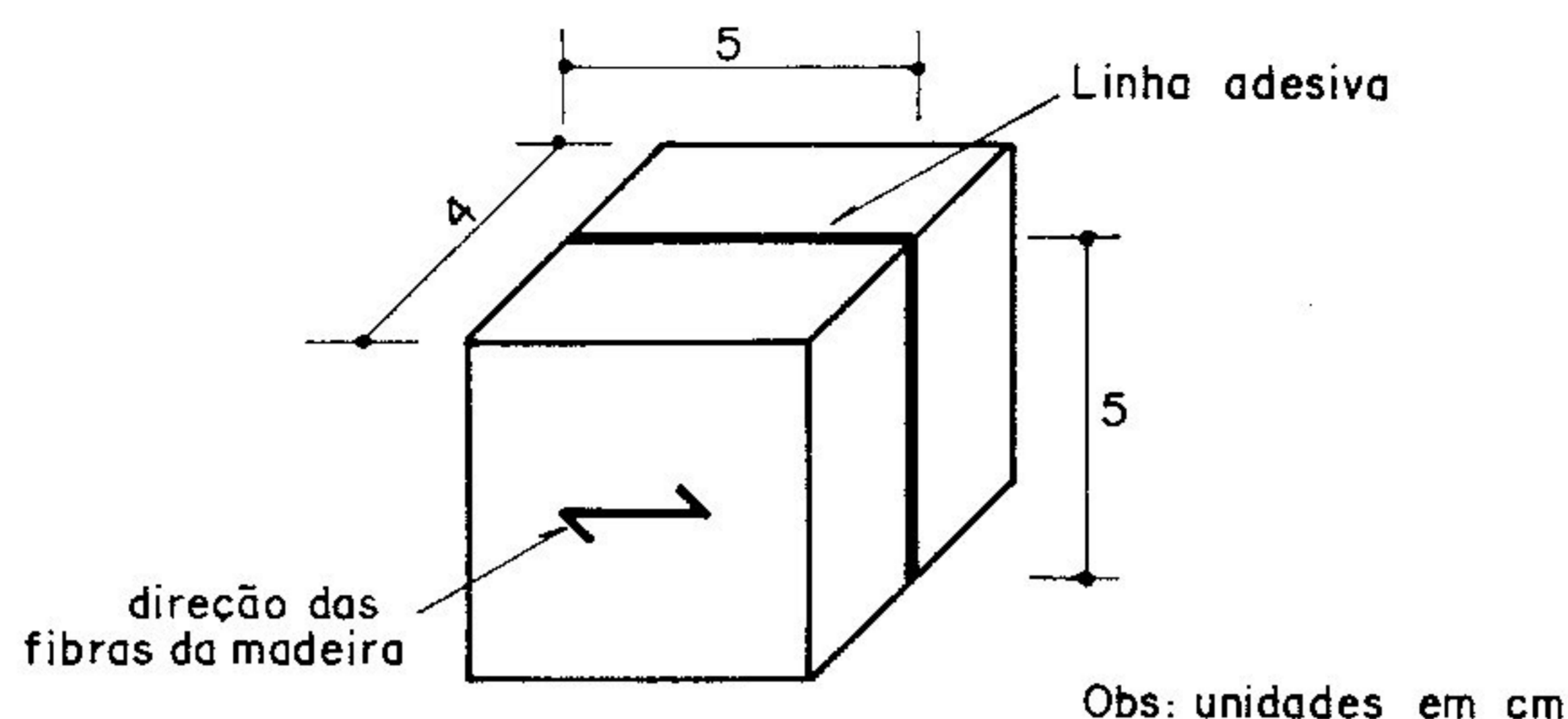


Figura 3.1 - Corpo de prova para determinação da resistência ao cisalhamento na linha adesiva

A tabela 3.1 apresenta uma análise estatística (para um nível de significância igual a 5%) dos resultados obtidos no ensaio. Obs.: a unidade utilizada é o MPa.

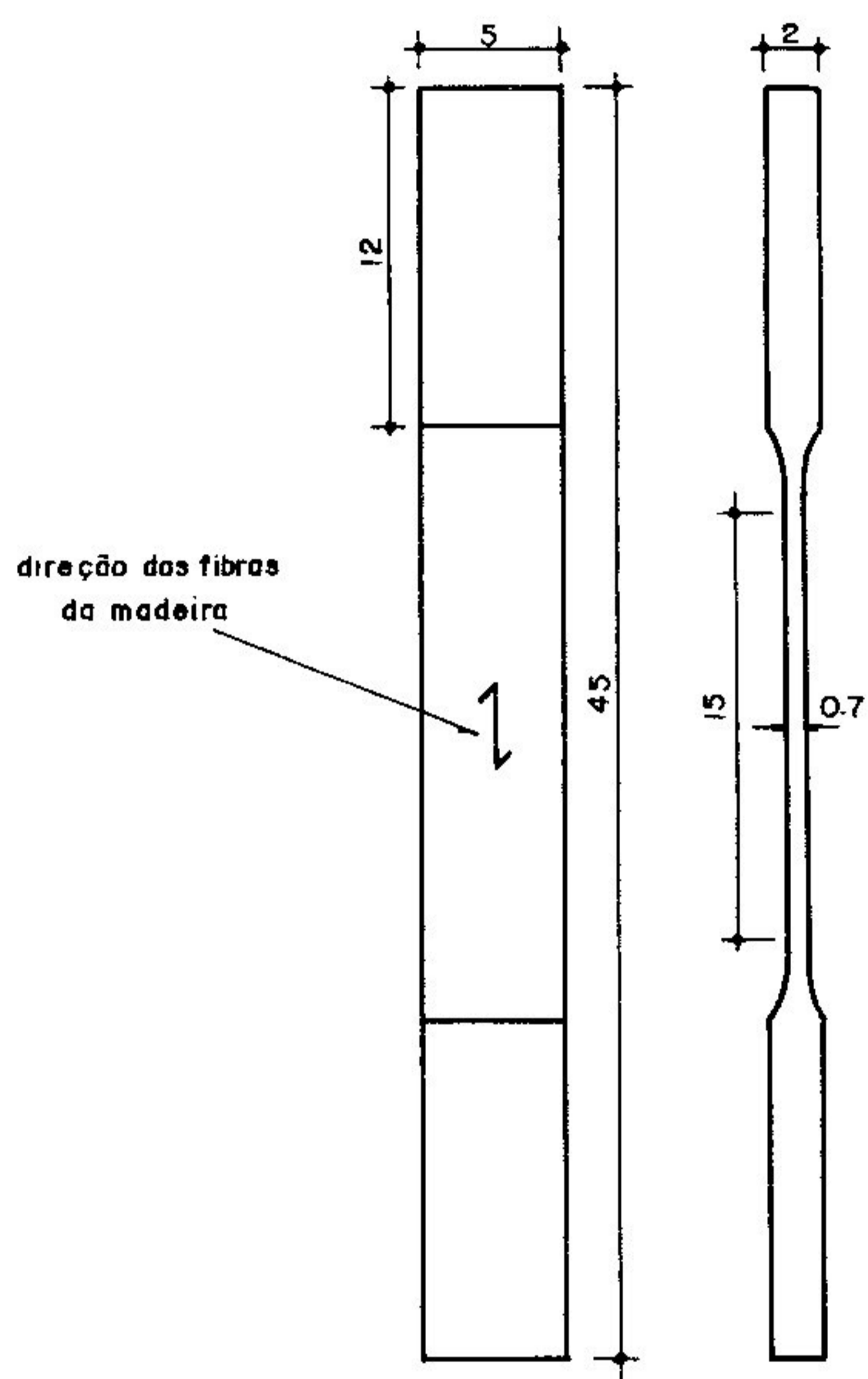
Tabela 3.1 - Análise estatística para os valores obtidos nos ensaios das ligações coladas

n	16
ν	15
τ_m	9,78
S	1,77
t_0	2,13
intervalo de confiança da média da população	$8,84 < \mu < 10,72$

3.2.2 - Determinação da resistência à tração paralela às fibras da madeira

O valor médio da resistência à tração, paralela às fibras para a *PINUS ELLIOTTII*, foi determinado utilizando-se corpos de prova, cujas dimensões e formato constavam na proposta para revisão e atualização dos métodos de ensaio adotados no IPT/ABNT, para o estudo de madeiras nacionais. Essa proposta foi apresentada em 1988 pelo

Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira, LaMEM, da Escola de Engenharia de São Carlos. Na figura 3.2 está apresentado um desenho do tipo de corpo de prova utilizado.



Obs: unidades em cm

Figura 3.2 - Corpo de prova para determinação da resistência à tração paralela às fibras da madeira

A tabela 3.2 apresenta uma análise estatística (para um nível de significância igual a 5%) dos resultados obtidos no ensaio. Obs.: a unidade utilizada é o MPa.

Tabela 3.2 - Análise estatística para os valores obtidos nos ensaios de tração paralela

n	6
ν	5
f_{tm}	40,25
S	4,01
t_0	2,57
intervalo de confiança da média da população	$36,04 < \mu < 44,46$

3.2.3 - Determinação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira

O valor médio da resistência à compressão paralela às fibras para a *PINUS ELLIOTTII* foi determinado utilizando-se corpos de prova nas dimensões de (2 X 2 X 3) cm, de acordo com os métodos de ensaio adotados no IPT para o estudo das madeiras nacionais (Boletim N^o 31), conforme mostrado na figura 3.3.

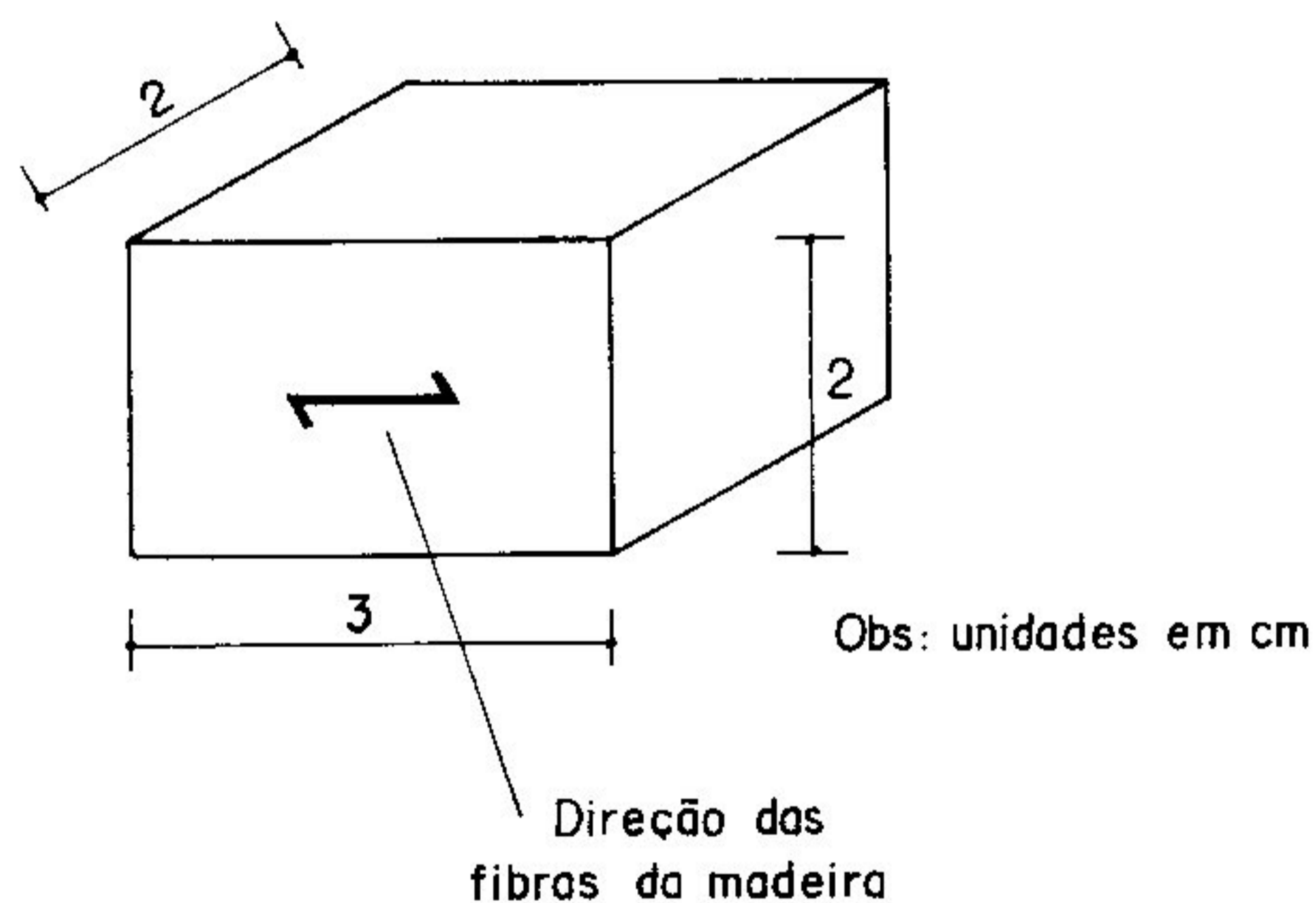


Figura 3.3 - Corpo de prova para determinação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira

Logo a seguir está apresentada uma análise estatística (para um nível de significância igual a 5%) dos resultados obtidos no

ensaio. Obs.: a unidade utilizada é o MPa.

Tabela 3.3 - Análise estatística para os valores obtidos nos ensaios de compressão paralela

n	15
ν	14
f_{cm}	28,61
S	2,82
t_0	2,14
intervalo de confiança da média da população	$27,05 < \mu < 30,17$

Para ser obtida a resistência relativa ao corpo de prova de (5 × 5 × 20) cm, a partir das resistências obtidas pelos corpos de prova de (2 × 2 × 3) cm, foi utilizado o estudo desenvolvido por GONÇALVES, PRATA (1990) em sua dissertação de mestrado.

Para seu estudo, foram moldados 7 tipos de corpos de prova, que apresentavam as seguintes dimensões: (2 × 2 × 3) cm, (2 × 2 × 8) cm, (3 × 3 × 12) cm, (5 × 5 × 20) cm, (15 × 15 × 60) cm, (3,5 × 3,5 × 14) cm e (7 × 7 × 28) cm. Foram utilizadas as seguintes espécies de madeira: Eucalyptus Citriodora, Eucalyptus Saligna, Eucalyptus Terenticornis, Peroba Rosa, Jatobá e Garapa. Foram realizados ensaios com a madeira verde e seca ao ar. O agrupamento dos resultados em valores médios, foi reportado ao corpo de prova de referência, (5 × 5 × 20) cm. O limite de resistência na média do grupo, por espécie e por teor de umidade, assumiu o valor unitário.

Dessa maneira, foram obtidas tabelas para cada uma dessas espécies. As tabelas apresentavam três colunas: a primeira com o valor da área da seção transversal do corpo de prova considerado, a segunda com o valor de f_{cm} (média do limite de resistência do grupo) e a terceira com o valor de $f_{cm,5}/f_{cm}$, representando a razão entre a resistência do corpo de prova padrão de (5 × 5 × 20) cm e a resistência dos corpos de prova ensaiados. A partir dessas tabelas, obteve-se uma outra com duas colunas: a primeira com o valor da área da seção transversal do corpo de prova e a segunda com o valor da

razão $f_{cm,5}/f_{cm}$.

Com os resultados da segunda tabela, foram plotados dois tipos de gráficos: o primeiro, com os valores da primeira coluna no eixo das abcissas e os da segunda coluna no eixo das ordenadas, e o segundo tipo, com o logaritmo dos valores da primeira coluna no eixo das abcissas e com os valores da segunda coluna no eixo das ordenadas. Foi feita uma regressão linear para cada um desses dois tipos de gráficos e obtidas equações. Após uma análise dos parâmetros obtidos com essas equações, considerou-se a equação obtida com o segundo tipo de gráfico como sendo mais representativa do fenômeno da variação de $f_{cm,5}/f_{cm}$ com a variação da área da seção transversal. A equação é a seguinte:

$$\frac{f_{cm,5}}{f_{cm}} = 0,14 \log A + 0,7864, \quad (3.1)$$

onde $f_{cm,5}$ = resistência do corpo de prova padrão (5 x 5 x 20) cm;

f_{cm} = resistência média dos corpos de prova ensaiados;

A = área de seção transversal dos corpos de prova ensaiados.

Considerando ser válida essa equação para a *PINUS ELLIOTTII*, a resistência média à compressão para o corpo de prova de (5 x 5 x 20) cm será:

$$f_{cm,5} = 24,91 \text{ MPa (para } A = 4 \text{ cm}^2\text{)}.$$

3.2.4 - Determinação do teor de umidade e da densidade aparente da madeira

O valor médio do teor de umidade e da densidade aparente foram determinados utilizando-se corpos de prova nas dimensões (2 x 2 x 4) cm. Na figura 3.4 está apresentado um desenho do corpo de prova utilizado.

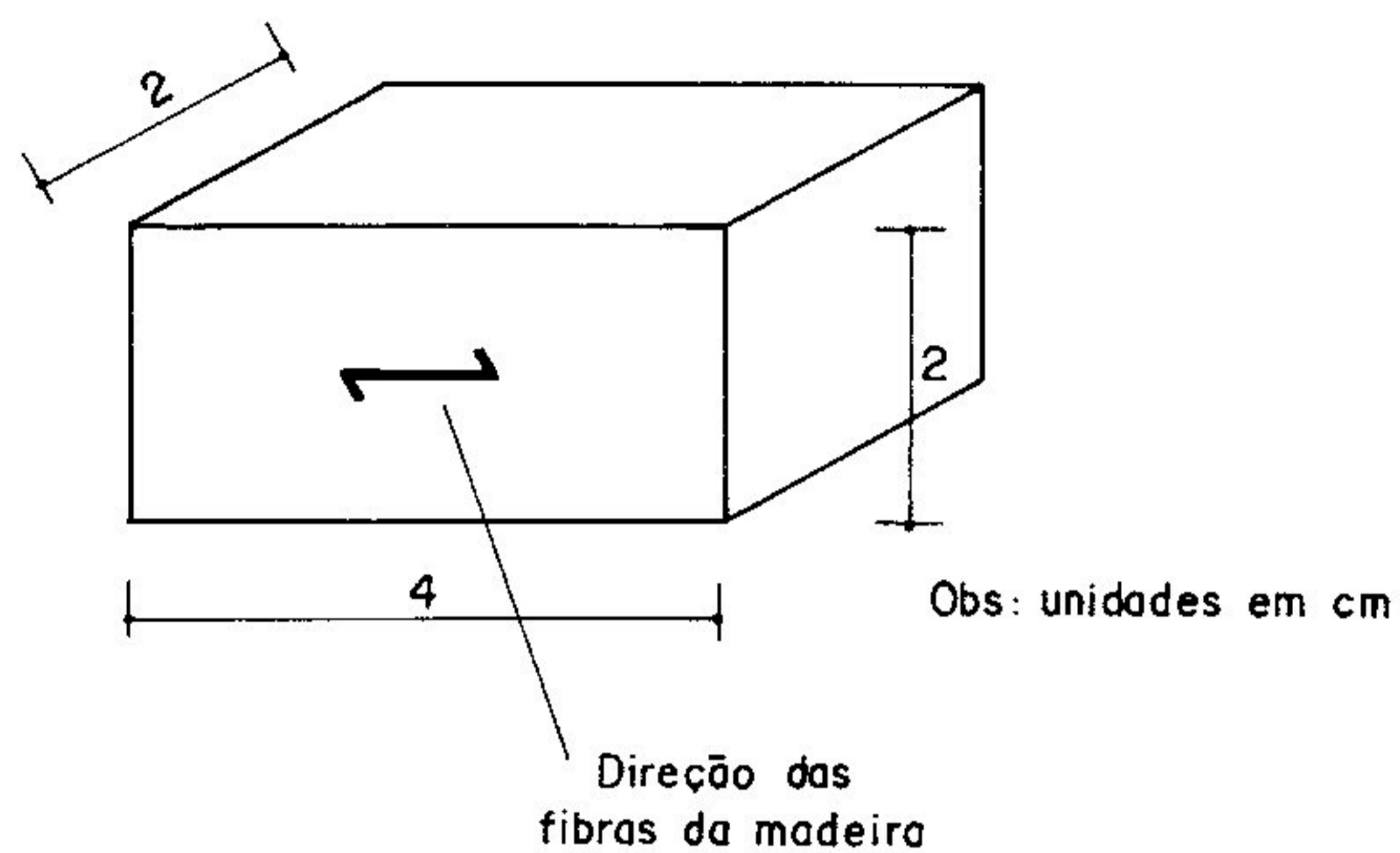


Figura 3.4 - Corpo de prova para determinação do teor de umidade e da densidade aparente

Os valores médios obtidos foram:

$$U = 13,09 \%, e$$
$$D_m = 4,4 \text{ KN/m}^3.$$

3.3 - Ensaio de classificação das lâminas quanto à rigidez

Para este tipo de classificação, devem ser obtidos os valores do módulo de elasticidade longitudinal, sendo que as tábuas que possuírem o maior valor serão consideradas de melhor qualidade.

No nosso caso, as tábuas apresentavam espessura pequena e comprimento grande (o comprimento das tábuas era mais do que o dobro do comprimento dos modelos que seriam construídos). Se as tábuas fossem colocadas sobre dois apoios, para se tentar obter o módulo de elasticidade aplicando-se carregamentos e medindo-se as flechas provocadas por aqueles, a flecha, devido ao peso próprio, que nelas apareceria, inviabilizaria o processo. Mesmo se o comprimento das tábuas fosse dividido ao meio, ainda assim essa flecha seria grande.

A solução encontrada foi a de colocar as tábuas sobre 5 apoios, obtendo-se assim 4 tramos. Dessa maneira, a flecha devido ao peso próprio seria pequena. Em cada tramo seriam aplicados carregamentos, e medidas as flechas provocadas por aqueles.

Arbitrou-se que no ponto central de cada tramo seriam aplicados 3 carregamentos, e que seriam registradas as flechas obtidas (Obs.: os carregamentos seriam aplicados sucessivamente nos 4 tramos, e não simultaneamente). Arbitrou-se também que seria calculado o módulo de elasticidade para cada um dos carregamentos e flechas.

A equação utilizada para o cálculo do módulo de elasticidade é a equação para cálculo do deslocamento em qualquer ponto de uma peça. A equação é a seguinte:

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I} \sum \int M_u M_l dx, \quad (3.2)$$

onde δ = deslocamento;

M_u = momento fletor provocado pelo carregamento unitário;

M_l = momento fletor provocado pelo carregamento real;

E = módulo de elasticidade;

I = momento de inércia.

Para a equação (3.2), o valor do deslocamento foi determinado no ensaio. O momento de inércia foi calculado de acordo com as dimensões da tábua que estava sendo analisada. Para esse cálculo, primeiramente, foram tomadas as dimensões no ponto central de cada um dos tramos que a tábua foi dividida, sendo calculado o valor do momento de inércia, a partir dessas dimensões, para cada um desses tramos. Em seguida, foi calculada a média para esses 4 valores, sendo esse valor médio adotado para toda a tábua.

Foi calculada a média para os 3 valores de módulo de elasticidade obtidos. Portanto, para cada tábua foram obtidos 4 valores de módulo de elasticidade, sendo cada um desses valores um valor médio (obtido quando se aplicou sucessivamente carregamentos em cada um dos 4 tramos que a tábua foi dividida). Os módulos de elasticidade, obtidos dessa maneira, foram admitidos serem constantes ao longo do comprimento da tábua.

Visto que o comprimento das tábuas era mais do que o dobro do comprimento dos modelos que seriam construídos, após serem obtidos os valores médios do módulo de elasticidade para cada tábua, calculou-se a média para os valores obtidos para carga aplicada sucessivamente nos primeiro e segundo tramos e para os valores obtidos para carga aplicada sucessivamente nos terceiro e quarto tramos. Dessa maneira, quando a tábua fosse cortada ao meio para a fabricação dos modelos, o valor do módulo de elasticidade que representaria cada metade seria esse novo valor médio.

A aplicação dos carregamentos foi feita utilizando-se pequenos pesos de forma cilíndrica. Esses pesos são os seguintes:

- (1) 5,796 N,
- (2) 5,803 N,
- (3) 5,803 N.

O procedimento seguido para o ensaio de rigidez foi o seguinte:

- inicialmente, o peso (1) foi colocado no ponto central do tramo considerado, e o valor obtido para a flecha foi registrado;
- após isso, o peso (2) foi colocado em cima do peso (1), e o novo valor obtido para a flecha foi registrado;
- finalmente, o peso (3) foi colocado em cima dos pesos (1) e (2), e novamente o valor obtido para a flecha foi registrado.

Então, os carregamentos que foram aplicados foram:

$$P1 = 5,796 \text{ N,}$$

$$P2 = 11,599 \text{ N,}$$

$$P3 = 17,402 \text{ N,}$$

onde P2 é a soma dos pesos (1) e (2), e P3 é a soma dos pesos (1), (2) e (3).

O número total de tábuas do lote em análise era 98. Desse total, apenas 20 foram classificadas quanto a rigidez.

No anexo, quadro 1, são apresentados os resultados dos ensaios de flexão.

3.3.1 - Cálculo dos módulos de elasticidade

Preliminarmente ao cálculo dos módulos de elasticidade, deve ser determinado o valor do momento de inércia para as tábuas, bem como os valores do momento fletor atuante nestas, tanto para o carregamento unitário como para o carregamento real.

O quadro 2, do anexo, apresenta os valores do momento de inércia para cada tramo de cada tábua. Este quadro apresenta também os comprimentos dos tramos, bem como as dimensões das seções transversais destes.

Os valores do momento fletor a serem utilizados no cálculo dos módulos de elasticidade estão apresentados no quadro 3, do

anexo. Nesse quadro estão apresentados os valores do momento fletor para carga unitária e para as cargas aplicadas nos ensaios. Devido à simetria, visto que para cada tábua foi adotada uma inércia constante (igual a média dos valores calculados para os quatro tramos), os valores de momento fletor foram obtidos considerando-se apenas duas situações:

- 1^a) carga concentrada aplicada no ponto central do tramo 1;
- 2^a) carga concentrada aplicada no ponto central do tramo 2.

A figura 3.5 apresenta um esquema das duas situações de carregamento e dos momentos fletores esperados.

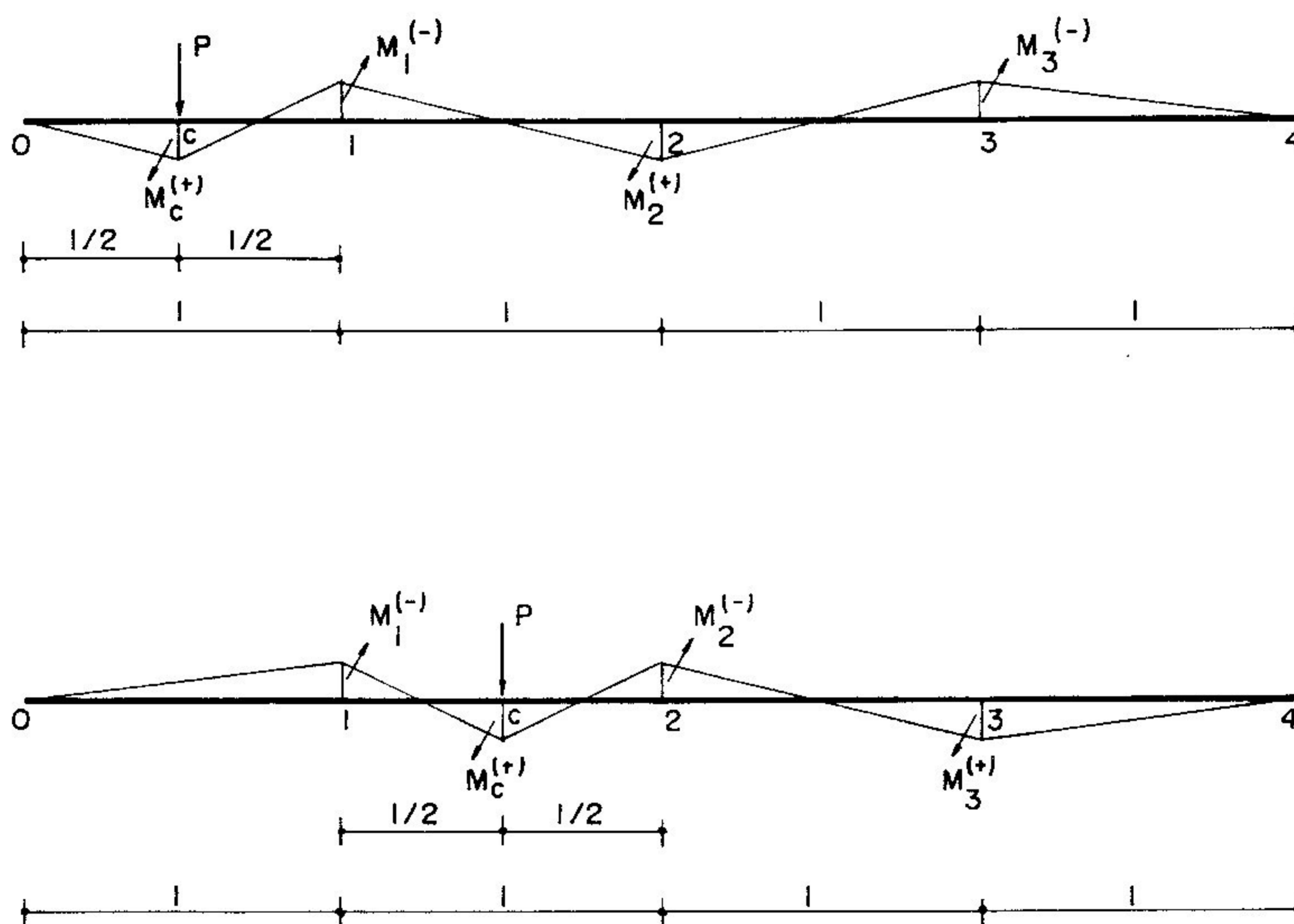


Figura 3.5 - Esquema das duas situações de carregamento, que foram consideradas para a determinação dos momentos fletores a serem utilizados no cálculo dos módulos de elasticidade

A legenda utilizada no quadro 3 está mostrada a seguir:

P0 = 10,
P1 = 5,796 N,
P2 = 11,599 N,
P3 = 17,402 N.

De posse dos valores das flechas obtidos nos ensaios e dos momentos fletores e de inércia calculados, os módulos de elasticidade podem ser obtidos pela seguinte expressão:

$$E = \frac{1}{\delta \cdot I} \sum \int M_u M_l dx \quad (3.3)$$

O quadro 4, do anexo, apresenta os resultados desses cálculos, juntamente com o resultado da média para esses valores.

De posse desses valores de módulo de elasticidade, podemos determinar o valor do módulo de elasticidade para os modelos que serão construídos. Isso será feito calculando-se a média para os valores obtidos quando se aplicou sucessivamente a carga nos primeiro e segundo tramos e para os valores obtidos quando se aplicou sucessivamente a carga nos terceiro e quarto tramos.

Os resultados desses cálculos estão apresentados na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Módulo de Elasticidade médio

PEÇA N ^o	MÓDULO DE ELASTICIDADE MÉDIO (MPa)	
	TRAMO 1 e 2	TRAMO 3 e 4
2	4208,91	7695,15
9	5000,91	4725,46
12	4842,06	4291,00
15	7148,04	0238,31
16	6879,16	9624,92
24	6515,14	6537,41
26	6372,08	7424,68
27	6333,18	6145,75
29	5506,70	5328,54
31	4320,92	5951,89
32	6337,31	6577,65
33	5892,96	7358,02
34	5506,11	6945,48
40	4726,36	5656,60
44	4652,73	4554,12
47	4943,62	5545,56
48	7937,25	8113,10
49	6580,28	5102,50
68	6065,67	10422,16
94	2884,62	2057,16

3.4 - Modelos de ensaio

O fator principal, que definiu o número de vigas a serem fabricadas para os ensaios, bem como suas dimensões, foi a disponibilidade de madeira para esta pesquisa.

Dessa maneira, foi definido que seriam fabricadas 20 vigas, cada uma destas com 10 lâminas em sua seção transversal. Foi definido também que cada lâmina possuiria 0,7 cm de espessura. Portanto, cada viga apresentaria uma altura igual a 7 cm.

Para que o valor da relação l/d fosse maior que 21, era necessário que o comprimento das vigas fosse de no mínimo 147 cm. Visto que as tábuas apresentavam mais que o dobro desse valor, foi definido que elas seriam divididas ao meio e que as metades seriam utilizadas na fabricação das vigas de ensaio.

Para facilitar a fabricação das vigas de ensaio, foi definido que em vez de se cortar todas as tábuas já nas dimensões finais, estas seriam apenas aparelhadas. A colagem seria feita então utilizando-se tábuas com comprimento igual à metade do seu comprimento original e com largura total. Várias vigas de altura igual a 7 cm foram produzidas dessa maneira.

Com o intuito de agilizar o processo de prensagem, a aplicação de pressão foi feita em mais de uma viga ao mesmo tempo (lembrar que a viga aqui referida não era o modelo de ensaio ainda). As vigas foram então divididas em 3 conjuntos, cada um destes organizado de acordo com as dimensões (largura e comprimento) das lâminas das vigas que os compunham, e o dimensionamento do sistema de prensagem foi feito para cada um desses conjuntos. Para evitar que as vigas de cada conjunto colassem umas nas outras durante o processo de prensagem, elas foram separadas por um plástico.

Após a secagem, as vigas foram levadas até a serra de fita, onde foi processado o corte dos modelos de ensaio, agora nas

suas dimensões finais. Para cada viga colada da maneira descrita, foram produzidos no mínimo dois modelos de ensaio.

A disposição de lâminas na seção transversal das vigas foi feita concentrando-se nas regiões mais externas as lâminas que possuíam o maior valor de módulo de elasticidade.

Nos dois subitens que se seguem serão apresentados os conjuntos, as vigas que os compõem e a disposição das lâminas em relação à linha neutra.

3.4.1 - Dimensões das vigas a serem submetidas à prensagem

Tabela 3.5 - Conjuntos e suas dimensões

Conjunto	Vigas		
	N ^o	Dimensões (cm)	
		Largura	Comprimento
1	I	9,25	174
	II	9,25	174
2	IV	7,96	168
	V	7,96	168
	VI	7,96	168
	VII	7,96	168
	IX	7,96	168
3	III	8,10	174
	VIII	8,10	174

3.4.2 - Disposição das lâminas na seção transversal das vigas

Será apresentada, nas tabelas 3.6, 3.7 e 3.8, a disposição adotada para as lâminas presentes na seção transversal das vigas.

Nestas tabelas constam, além dos valores dos módulos de elasticidade longitudinal de cada lâmina, as tábuas (com seus respectivos tramos), das quais aquelas lâminas provieram.

As lâminas foram dispostas, na seção transversal, de maneira crescente em relação ao valor do módulo de elasticidade longitudinal, a partir da metade da altura da viga. Desse modo, as lâminas externas serão as que possuirão os maiores valores de módulo de elasticidade. Estas foram numeradas como 1 e 10, sendo que a lâmina 10 sempre possuirá um valor para o módulo de elasticidade, superior ao da lâmina 1. Obs.: as lâminas 1 e 10 foram assinaladas nas vigas de ensaio, para facilitar a sua identificação na ocasião da realização dos ensaios.

A disposição adotada para as lâminas presentes na seção transversal das vigas, será apresentada nas tabelas 3.6, 3.7 e 3.8.

Tabela 3.6 - Disposição adotada para as lâminas presentes na seção transversal das vigas I, II e III.

LAMINAS	VIGA I			VIGA II			VIGA III		
	TABUA	TRAMOS	E (MPa)	TABUA	TRAMOS	E (MPa)	TABUA	TRAMOS	E (MPa)
1	16	3 e 4	9624,92	24	3 e 4	6537,41	34	3 e 4	6945,48
2	16	3 e 4	9624,92	24	3 e 4	6537,41	34	3 e 4	6945,48
3	16	1 e 2	6879,32	9	1 e 2	5000,91	34	3 e 4	6945,48
4	16	1 e 2	6879,32	9	1 e 2	5000,91	26	1 e 2	6372,08
5	9	3 e 4	4725,46	2	1 e 2	4208,91	34	1 e 2	5506,11
6	9	3 e 4	4725,46	2	1 e 2	4208,91	34	1 e 2	5506,11
7	15	1 e 2	7148,04	24	1 e 2	6515,14	26	1 e 2	6372,08
8	15	1 e 2	7148,04	24	1 e 2	6515,14	26	3 e 4	7424,68
9	15	3 e 4	10238,31	2	3 e 4	7695,15	26	3 e 4	7424,68
10	15	3 e 4	10238,31	2	3 e 4	7695,15	26	3 e 4	7424,68

Tabela 3.7 - Disposição adotada para as lâminas presentes na seção transversal das vigas IV, V e VI.

LAMINAS	VIGA IV			VIGA V			VIGA VI		
	TABUA	TRAMOS	E (MPa)	TABUA	TRAMOS	E (MPa)	TABUA	TRAMOS	E (MPa)
1	26	1 e 2	6372,08	48	1 e 2	7937,25	48	1 e 2	7937,25
2	32	1 e 2	6337,31	49	3 e 4	5102,50	47	3 e 4	5545,56
3	32	1 e 2	6337,31	47	1 e 2	4943,62	49	3 e 4	5102,50
4	34	1 e 2	5506,11	47	1 e 2	4943,62	47	1 e 2	4943,62
5	44	3 e 4	4554,12	44	1 e 2	4652,73	44	3 e 4	4554,12
6	44	3 e 4	4554,12	44	1 e 2	4652,73	44	1 e 2	4652,13
7	32	1 e 2	6337,31	49	3 e 4	5102,50	47	3 e 4	5545,56
8	32	3 e 4	6577,65	47	3 e 4	5545,56	49	1 e 2	6580,28
9	32	3 e 4	6577,65	49	1 e 2	6580,28	49	1 e 2	6580,28
10	32	3 e 4	6577,65	48	3 e 4	8113,10	48	3 e 4	8113,10

Tabela 3.8 - Disposição adotada para as lâminas presentes na seção transversal das vigas VII, VIII e IX.

LAMINAS	VIGA VII			VIGA VIII			VIGA IX		
	TABUA	TRAMOS	E (MPa)	TABUA	TRAMOS	E (MPa)	TABUA	TRAMOS	E (MPa)
1	27	1 e 2	6333,18	33	3 e 4	7358,02	40	3 e 4	5656,60
2	27	1 e 2	6333,18	33	3 e 4	7358,02	40	1 e 2	4726,36
3	27	1 e 2	6333,18	33	3 e 4	7358,02	40	1 e 2	4726,36
4	33	1 e 2	5892,96	31	3 e 4	5951,89	31	1 e 2	4320,92
5	31	1 e 2	4320,92	33	1 e 2	5892,96	12	3 e 4	4291,00
6	31	1 e 2	4320,92	33	1 e 2	5892,96	12	3 e 4	4291,00
7	31	3 e 4	5951,89	68	1 e 2	6065,67	12	1 e 2	4842,06
8	27	3 e 4	6145,75	68	1 e 2	6065,67	12	1 e 2	4842,06
9	27	3 e 4	6145,75	68	3 e 4	10422,16	31	3 e 4	5951,89
10	48	1 e 2	7937,25	68	3 e 4	10422,16	48	3 e 4	8113,10

3.4.3 - Sistema de prensagem

O sistema de prensagem será constituído basicamente de grampos formados por parafusos e peças de madeira montadas em um berço de prensagem. Para se determinar o aperto dos grampos será considerada uma peça apoiada sobre uma fundação elástica.

3.4.3.1 - Pressão de aperto da prensa

As prensas utilizadas são compostas de cavaletes e grampos intermediários. Os grampos intermediários são travessas dispostas no intervalo entre cada cavalete. As vigas são posicionadas deitadas nestes cavaletes, e a aplicação da pressão é feita lateralmente, em relação ao cavalete. Para uma melhor distribuição da pressão, foi colocada uma tábua na parte superior e inferior da viga de madeira laminada colada.

As dimensões das seções transversais, adotadas para os elementos de distribuição, foram:

- cavaletes de madeira paraju com (6,4 × 6,4) cm;
- grampos intermediários de madeira paraju com (5,9 × 5,9) cm;
- tábua para distribuição de pressão de madeira cumaru com (8,3 × 3,6)cm.

MANTILLA, CARRASCO (1989) realizou um estudo com 4 espécies de madeiras, que apresentavam valores distintos de densidades, onde comprovou a existência de um nível de pressão (considerado ótimo) que, se fosse respeitado, proporcionaria maiores resistências às ligações coladas. Esse nível de pressão, em qualquer ponto da linha adesiva, deveria girar em torno de 0,55 e 0,65 MPa (pressão mínima).

A madeira, utilizada para a confecção das vigas laminadas coladas, possuía a densidade variando de 3,5 a 5,4 KN/m³. Esses valores de densidade estavam dentro da série de valores que haviam sido estudados por MANTILLA, CARRASCO. Conseqüentemente, os valores mínimos para nível de pressão, que aquele pesquisador obteve em seu estudo, poderiam ser adotados para a madeira da nossa pesquisa.

O nível máximo de pressão foi fixado em 2,23 MPa, que é igual à resistência admissível para compressão normal às fibras, obtida a partir dos resultados dos ensaios.

O valor médio para o módulo da elasticidade na compressão paralela fornecido por MOLITERNO é $E_{wp} = 6590$ MPa. De acordo com SMITH (1962), o valor do E normal às fibras pode ser considerado como sendo igual a 6,5 % do E paralelo (média do E radial e o E tangencial). Portanto, o E normal às fibras será igual a $E_{wn} = 428,4$ MPa.

Para o dimensionamento das prensas, será utilizado o método apresentado por SMITH (1962), que considera as lâminas como vigas sobre apoio elástico. Este método nos fornece uma equação para a determinação da pressão exercida pelo sistema de prensagem sobre a viga laminada colada. De posse da equação, pode-se fixar um valor para a pressão, de maneira que o valor não seja nem inferior à pressão mínima estipulada, nem superior à resistência admissível para compressão normal às fibras, e assim calcular qual será a força que o sistema de prensagem estará aplicando e dimensionar os parafusos desse sistema.

Serão verificadas as pressões em dois pontos considerados críticos, que se localizam entre o primeiro cavalete e o primeiro grampo intermediário do sistema de prensagem. Tais pontos estão na região entre as duas primeiras lâminas (ponto 1) e entre as duas lâminas centrais (ponto 2).

As equações que serão utilizadas para esses dimensionamentos serão apresentadas a seguir.

a) *Constante elástica da fundação*

$$k = \left(\frac{E_{wn}}{d_f} \right) \cdot b , \quad (3.4)$$

onde E_{wn} = módulo de elasticidade para a compressão normal às fibras;
 d_f = altura da fundação;
 b = largura da viga.

b) *Momento de inércia da viga*

$$I = \frac{b h^3}{12}, \quad (3.5)$$

onde h = altura da viga.

c) *Valor de β*

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 E_{wp} I}} \quad (3.6)$$

onde E_{wp} = módulo de elasticidade para a compressão paralela às fibras.

d) *Valor de $D_{\beta x}$*

$$D_{\beta x} = e^{-(\beta x)} \cdot \cos(\beta x), \quad (3.7)$$

onde $x = m$ ou n (coordenadas dos pontos inicial e final dos cavaletes ou intermediários, a partir do ponto onde se deseja verificar a pressão).

e) *Pressão aplicada pelo sistema de prensagem*

$$q' = \frac{p}{2b} (D_{\beta m} - D_{\beta n}) \quad (3.8)$$

onde p = carga por unidade de comprimento, aplicada pelo sistema de prensagem.

f) *Força de aperto do parafuso*

$$N_p = 0,72 \cdot \sigma_e \cdot \frac{\pi d_{liq}^2}{4}, \quad (3.9)$$

onde σ_e = tensão de escoamento do aço;
 d_{liq} = diâmetro líquido do parafuso.

g) *Momento torçor a ser aplicado na porca para produzir a força de aperto necessária*

$$M_{ch} = N_p \cdot d \cdot 0,20 \cdot 1,10 \quad (3.10)$$

Nos subitens a seguir, serão apresentados esses dimensionamentos para cada conjunto.

3.4.3.1.1 - *Conjunto 1*

Ponto 1

As dimensões do conjunto 1 estão apresentadas na figura 3.6.

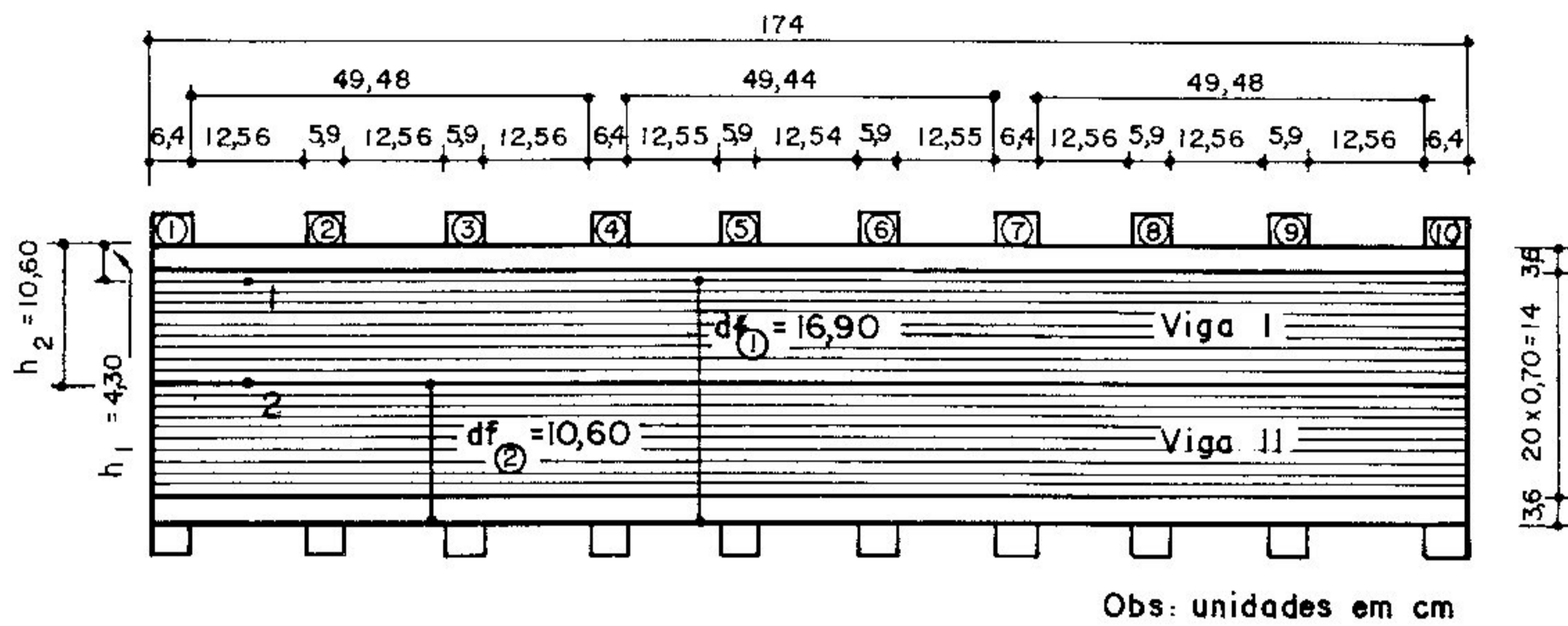


Figura 3.6 - Esquema do sistema de prensagem do conjunto 1

De acordo com as dimensões apresentadas na figura 3.6, e utilizando-se as equações apresentadas no item 3.4.3.1, os seguintes resultados serão obtidos:

$$d_f = 16,90 \text{ cm}$$

$$b = 9,25 \text{ cm}$$

$$k = 234,5 \text{ MPa}$$

$$I = 61 \text{ cm}^4$$

$$\beta = 0,1099 \text{ (1/cm)}$$

Os cálculos de $(D_{\beta_m} - D_{\beta_n})$ estão na tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Determinação de $D_{\beta m} - D_{\beta n}$ para o ponto 1 do conjunto 1

TRAVESSA		x (cm)	βx	$D_{\beta x}$	$D_{\beta m} - D_{\beta n}$
N ^o	inic. final				
1	m1	6,28	0,6902	0,3867	0,3429
	n1	12,68	1,3935	0,0438	
2	m2	6,28	0,6902	0,3867	0,3264
	n2	12,18	1,3386	0,0603	
3	m3	24,74	2,7189	-0,0601	-0,0265
	n3	30,64	3,3673	-0,0336	
4	m4	43,20	4,7477	0,0003	-0,0026
	n4	49,60	5,4510	0,0029	
5	m5	62,15	6,8303	0,0009	0,0007
	n5	68,05	7,4787	0,0002	
6	m6	80,59	8,8568	-0,0001	0
	n6	86,49	9,5053	-0,0001	
					Σ 0,6409

Assim, a pressão no ponto 1 será:

$$q' = \frac{p}{18,50} \cdot 0,6409 .$$

Considerando-se um valor mínimo de 1,0 MPa para a pressão aplicada pelo sistema de prensagem, obtém-se:

$$p = 288,66 \text{ KN/m.}$$

Sabe-se que a largura da porção do cavalete em contato com a tábua de distribuição é 6,4 cm. Portanto, a força exercida pelo sistema de prensagem será:

$$N = p \cdot 6,4 = 18,47 \text{ KN.}$$

Ponto 2

De acordo com as dimensões apresentadas na figura 3.6, e utilizando-se as equações apresentadas no item 3.4.3.1, os seguintes resultados serão obtidos:

$$d_f = 10,60 \text{ cm}$$

$$b = 9,25 \text{ cm}$$

$$k = 373,8 \text{ MPa}$$

$$I = 918 \text{ cm}^4$$

$$\beta = 0,0627 \text{ (1/cm)}$$

Os cálculos de $(D_{\beta_m} - D_{\beta_n})$ estão na tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Determinação de $D_{\beta_m} - D_{\beta_n}$ para o ponto 2 do conjunto 1

TRAVESSA		x (cm)	βx	$D_{\beta x}$	$D_{\beta_m} - D_{\beta_n}$
N ^o	inic. final				
1	m1	6,28	0,3938	0,6229	0,3067
	n1	12,68	0,7950	0,3162	
2	m2	6,28	0,3938	0,6229	0,2864
	n2	12,18	0,7637	0,3365	
3	m3	24,74	1,5512	0,0042	0,0545
	n3	30,64	1,9211	-0,0503	
4	m4	43,20	2,7086	-0,0605	-0,0159
	n4	49,60	3,1099	-0,0446	
5	m5	62,15	3,8968	-0,0148	-0,0088
	n5	68,05	4,2667	-0,0060	
6	m6	80,59	5,0530	0,0021	-0,0008
	n6	86,49	5,4229	0,0029	
7	m7	99,04	6,2098	0,0020	0,00070
	n7	105,44	6,6111	0,0013	
8	m8	118,00	7,3986	0,0003	0,00026
	n8	123,90	7,7685	0,00004	
					Σ 0,62306

Assim, a pressão no ponto 2 será:

$$q' = \frac{p}{18,50} \cdot 0,62306$$

Considerando-se um valor mínimo de 1,0 MPa para a pressão aplicada pelo sistema de prensagem, obtém-se:

$$p = 297,00 \text{ KN/m.}$$

Sabe-se que a largura da porção do cavalete, em contato com a tábua de distribuição, é 6,4 cm. Portanto, a força exercida pelo sistema de prensagem será:

$$N = p \cdot 6,4 = 297,00 \cdot 6,4 = 19,00 \text{ KN}$$

O valor escolhido para a força, a ser aplicada pelo sistema de prensagem, será $N = 19,00 \text{ KN}$. Tal força será aplicada por dois parafusos. Assim, a força de aperto de cada parafuso será $N_p = 9,65 \text{ KN}$. O dimensionamento dos parafusos será feito a seguir.

$$d_{liq} = 0,84 \text{ cm}$$

Visto que o diâmetro mínimo disponível é de 1/2" (1,27 cm), a resistência dos parafusos será satisfatória. O momento torçor a ser aplicado na porca, para produzir a força determinada acima, deverá ser calculado para esse diâmetro disponível.

$$M_{ch} = 27,0 \text{ N m}$$

3.4.3.1.2 - Conjunto 2

Ponto 1

As dimensões do conjunto 2 estão apresentadas na figura 3.7.

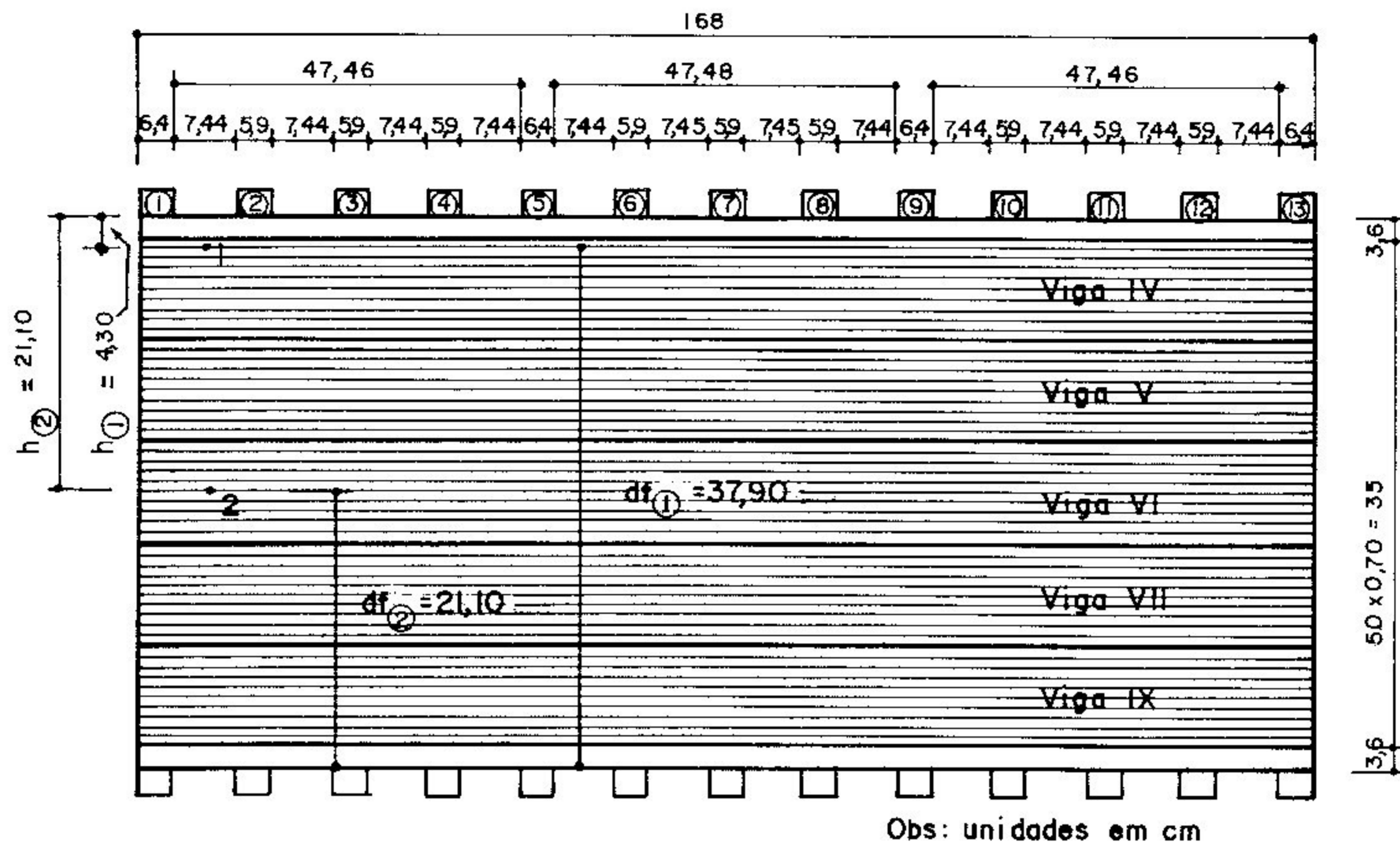


Figura 3.7 - Esquema do sistema de prensagem do conjunto 2

De acordo com as dimensões apresentadas na figura 3.7, e utilizando-se as equações apresentadas no item 3.4.3.1, os seguintes resultados serão obtidos:

$$d_f = 37,90 \text{ cm}$$

$$b = 7,96 \text{ cm}$$

$$k = 90,0 \text{ MPa}$$

$$I = 53 \text{ cm}^4$$

$$\beta = 0,0896 \text{ (1/cm)}$$

Os cálculos de $(D_{\beta_m} - D_{\beta_n})$ estão na tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Determinação de $D_{\beta_m} - D_{\beta_n}$ para o ponto 1 do conjunto 2

TRAVESSA		x (cm)	βx	$D_{\beta x}$	$D_{\beta_m} - D_{\beta_n}$
N ^o	inic. final				
1	m1	3,72	0,3333	0,6771	0,4282
	n1	10,12	0,9068	0,2489	
2	m2	3,72	0,3333	0,6771	0,4022
	n2	9,62	0,8620	0,2749	
3	m3	17,06	1,5286	0,0091	0,0688
	n3	22,96	2,0572	-0,0597	
4	m4	30,40	2,7238	-0,0600	-0,0216
	n4	36,30	3,2525	-0,0384	
5	m5	43,74	3,9191	-0,0142	-0,0118
	n5	50,14	4,4925	-0,0024	
6	m6	57,58	5,1592	0,0025	-0,0003
	n6	63,48	5,6878	0,0028	
7	m7	70,93	6,3553	0,0017	0,0009
	n7	76,83	6,8840	0,0008	
8	m8	84,28	7,5515	0,0002	0,0003
	n8	90,18	8,0801	-0,0001	
9	m9	97,62	8,7468	-0,0001	0
	n9	104,02	9,3202	-0,0001	
					Σ 0,8667

Assim, a pressão no ponto 1 será:

$$q' = \frac{p}{15,92} = 0,8667.$$

Considerando-se um valor mínimo de 1,0 MPa para a

pressão aplicada pelo sistema de prensagem, obtém-se:

$$p = 183,69 \text{ KN/m.}$$

Sabe-se que a largura da porção do cavalete em contato com a tábua de distribuição é de 6,4 cm. Portanto, a força exercida pelo sistema de prensagem será:

$$N = p \cdot 6,4 = 11,76 \text{ KN}$$

Ponto 2

De acordo com as dimensões apresentadas na figura 3.7, e utilizando-se as equações apresentadas no item 3.4.3.1, os seguintes resultados serão obtidos:

$$d_f = 21,10 \text{ cm}$$

$$b = 7,96 \text{ cm}$$

$$k = 161,6 \text{ MPa}$$

$$I = 6231 \text{ cm}^4$$

$$\beta = 0,0315 \text{ (1/cm)}$$

Os cálculos de $(D_{\beta_m} - D_{\beta_n})$ estão na tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Determinação de $D_{\beta_m} - D_{\beta_n}$ para o ponto 2 do conjunto 2

TRAVESSA		x (cm)	βx	$D_{\beta x}$	$D_{\beta_m} - D_{\beta_n}$
N ^o	inic. final				
1	m1	3,72	0,1172	0,8833	0,1929
	n1	10,12	0,3188	0,6904	
2	m2	3,72	0,1172	0,8833	0,1783
	n2	9,62	0,3030	0,7050	
3	m3	17,06	0,5374	0,5019	0,1382
	n3	22,96	0,7232	0,3637	
4	m4	30,40	0,9576	0,2209	0,0888
	n4	36,30	1,1435	0,1321	
5	m5	43,74	1,3778	0,0484	0,0502
	n5	50,14	1,5794	-0,0018	
6	m6	57,58	1,8138	-0,0392	0,0171
	n6	63,48	1,9996	-0,0563	
7	m7	70,93	2,2343	-0,0659	0,0009
	n7	76,83	2,4201	-0,0668	
8	m8	84,28	2,6548	-0,0621	-0,0063
	n8	90,18	2,8407	-0,0558	
9	m9	97,62	3,0750	-0,0461	-0,0087
	n9	104,02	3,2766	-0,0374	
10	m10	111,46	3,5110	-0,0279	-0,0068
	n10	117,36	3,6968	-0,0211	

Tabela 3.12 - Determinação de $D_{\beta m} - D_{\beta n}$ para o ponto 2 do conjunto 2
(continuação)

TRAVESSA		x (cm)	βx	$D_{\beta x}$	$D_{\beta m} - D_{\beta n}$
N ^o	inic. final				
11	m11	124,80	3,9312	-0,0138	-0,0047
	n11	130,70	4,1171	-0,0091	
12	m12	138,14	4,3514	-0,0046	-0,0027
	n12	144,04	4,5373	-0,0019	
13	m13	151,48	4,7716	0,0005	-0,0013
	n13	157,88	4,9732	0,0018	
					Σ 0,6359

Assim, a pressão no ponto 2 será:

$$q' = \frac{p}{15,92} \cdot 0,6359 .$$

Considerando-se um valor mínimo de 1,0 MPa para a pressão aplicada pelo sistema de prensagem, obtém-se:

$$p = 250,35 \text{ KN/m.}$$

Sabe-se que a largura da porção do cavalete, em contato com a tábua de distribuição, é igual a 6,4 cm. Portanto, a força exercida pelo sistema de prensagem será:

$$N = p \cdot 6,4 = 16,02 \text{ KN}$$

O valor escolhido para a força, a ser aplicada pelo sistema de prensagem, será $N = 16,02 \text{ KN}$. Tal força será aplicada por dois parafusos. Assim, a força de aperto de cada parafuso será $N_p = 8,01 \text{ KN}$. O dimensionamento dos parafusos será feito a seguir.

$$d_{liq} = 0,77 \text{ cm}$$

Visto que o diâmetro mínimo disponível é de 1/2" (1,27 cm), a resistência dos parafusos será satisfatória. O momento torçor, a ser aplicado na porca para produzir a força determinada acima, deverá ser calculado para esse diâmetro disponível.

$$M_{ch} = 22,4 \text{ N m}$$

3.4.3.1.3 - Conjunto 3

Ponto 1

As dimensões do conjunto 3 estão apresentadas na figura 3.8.

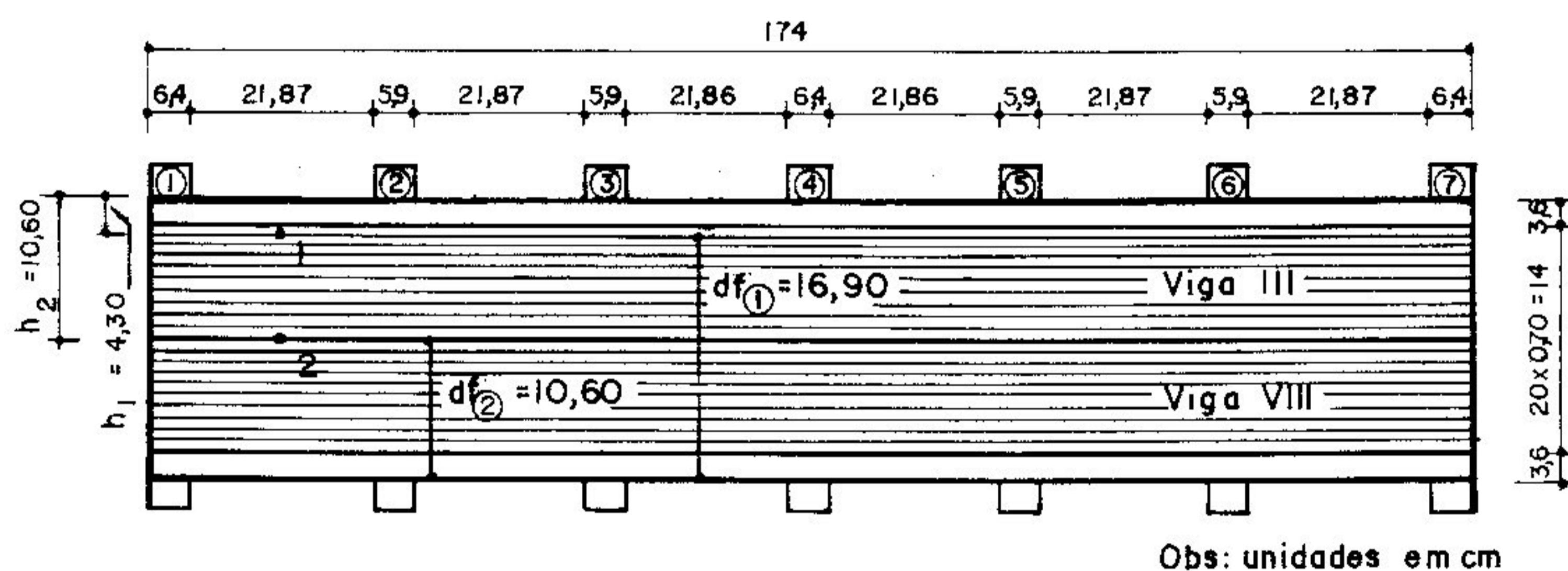


Figura 3.8 - Esquema do sistema de prensagem do conjunto 3

De acordo com as dimensões apresentadas na figura 3.8, e utilizando-se as equações apresentadas no item 3.4.3.1, os seguintes resultados serão obtidos:

$$d_f = 16,90 \text{ cm}$$

$$b = 8,10 \text{ cm}$$

$$k = 205,3 \text{ MPa}$$

$$I = 54 \text{ cm}^4$$

$$\beta = 0,1096 \text{ (1/cm)}$$

Os cálculos de $(D_{\beta m} - D_{\beta n})$ estão na tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Determinação de $D_{\beta m} - D_{\beta n}$ para o ponto 1 do conjunto 3

TRAVESSA		x (cm)	βx	$D_{\beta x}$	$D_{\beta m} - D_{\beta n}$
N ^o	inic. final				
1	m1	10,935	1,1985	0,1097	0,1580
	n1	17,335	1,8999	-0,0483	
2	m2	10,935	1,1985	0,1097	0,1525
	n2	16,835	1,8451	-0,0428	
3	m3	38,705	4,2421	-0,0065	-0,0078
	n3	44,605	4,8887	0,0013	
4	m4	66,465	7,2846	0,0004	0,00044
	n4	72,865	7,9860	-0,00004	
					Σ 0,30314

Assim, a pressão no ponto 1 será:

$$q' = \frac{p}{16,20} \cdot 0,30314$$

Considerando-se um valor mínimo de 1,0 MPa para a pressão aplicada pelo sistema de prensagem, obtém-se:

$$p = 534,41 \text{ KN/m.}$$

Sabe-se que a largura da parte do cavalete, em contato com a tábua de distribuição, é igual a 6,4 cm. Portanto, a força exercida pelo sistema de prensagem será:

$$N = p \cdot 6,4 = 34,20 \text{ KN}$$

Ponto 2

De acordo com as dimensões apresentadas na figura 3.8, e utilizando-se as equações apresentadas no item 3.4.3.1, os seguintes resultados serão obtidos:

$$d_f = 10,60 \text{ cm}$$

$$b = 8,10 \text{ cm}$$

$$k = 327,4 \text{ MPa}$$

$$I = 804 \text{ cm}^4$$

$$\beta = 0,0627 \text{ (1/cm)}$$

Os cálculos de $(D_{\beta_m} - D_{\beta_n})$ estão na tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Determinação de $D_{\beta m} - D_{\beta n}$ para o ponto 2 do conjunto 3

TRAVESSA		x (cm)	βx	$D\beta x$	$D\beta m - D\beta n$
N ^o	inic. final				
1	m1	10,935	0,6856	0.3900	0,2331
	n1	17,335	1,0869	0.1569	
2	m2	10,935	0,6856	0,3900	0,2185
	n2	16,835	1,0556	0,1715	
3	m3	38,705	2,4268	-0,0667	-0,0093
	n3	44,605	2,7967	-0,0574	
4	m4	66,465	4,1674	-0,0080	-0,0065
	n4	72,865	4,5686	-0,0015	
5	m5	94,725	5,9393	0,0025	0,0007
	n5	100,625	6,3092	0,0018	
6	m6	122,495	7,6804	0,0001	0,0002
	n6	128,395	8,0504	-0,0001	
					Σ 0,4367

Assim, a pressão no ponto 2 será:

$$q' = \frac{p}{16,20} \cdot 0,4367$$

Considerando-se um valor mínimo de 1,0 MPa para a pressão aplicada pelo sistema de prensagem, obtém-se:

$$p = 370,96 \text{ KN/m.}$$

Sabe-se que a largura da parte do cavalete, em contato com a tábua de distribuição, é igual a 6,4 cm. Portanto, a força exercida pelo sistema de prensagem será:

$$N = p \cdot 6,4 = 23,74 \text{ KN.}$$

O valor escolhido para a força, a ser aplicada pelo sistema de prensagem, será $N = 34,20 \text{ KN}$. Tal força será aplicada por dois parafusos. Assim, a força de aperto de cada parafuso será $N_p = 17,10 \text{ KN}$. O dimensionamento dos parafusos será feito a seguir.

$$d_{liq} = 1,12 \text{ cm}$$

Visto que o diâmetro mínimo disponível é de $1/2''$ (1,27 cm), a resistência dos parafusos será satisfatória. O momento torçor, a ser aplicado na porca para produzir a força determinada acima, deverá ser calculado para esse diâmetro disponível.

$$M_{ch} = 47,8 \text{ N m}$$

3.4.4 - *Fabricação dos modelos a serem submetidos à pressão de aperto*

O processo de fabricação está retratado nas fotografias das figuras 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13.



Figura 3.9 - Vista das lâminas preparadas para colagem

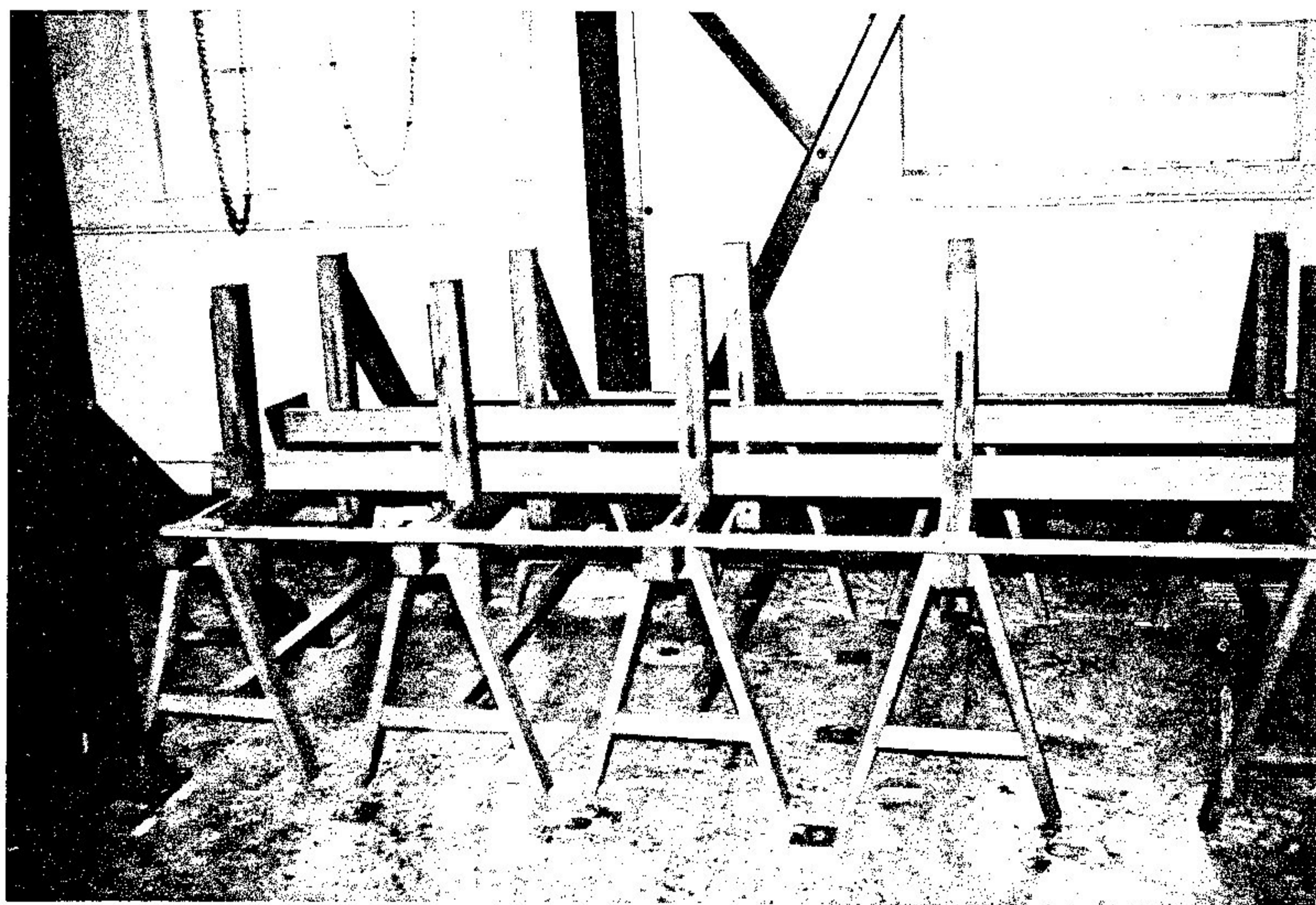


Figura 3.10 - Vista lateral do sistema de prensagem

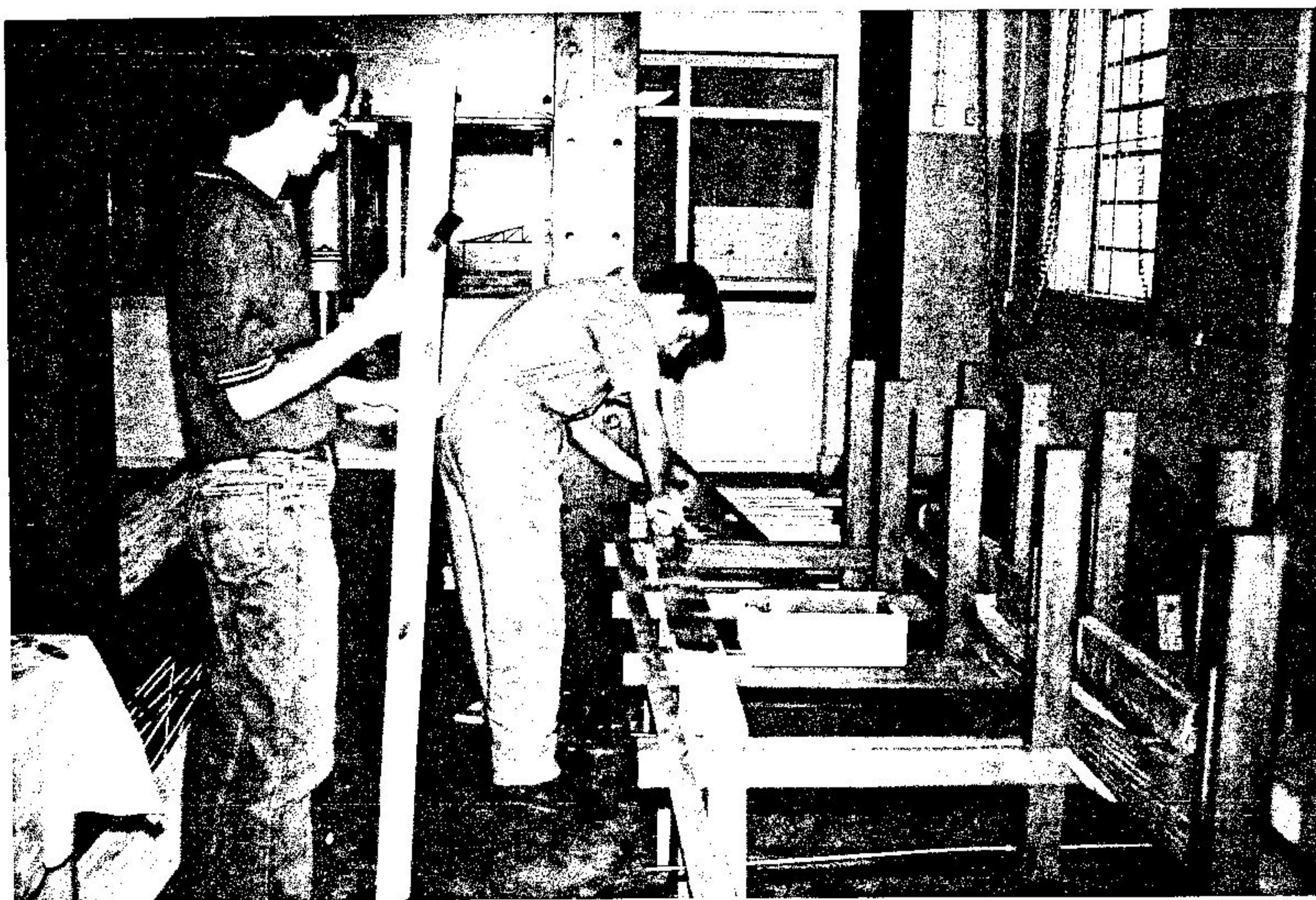
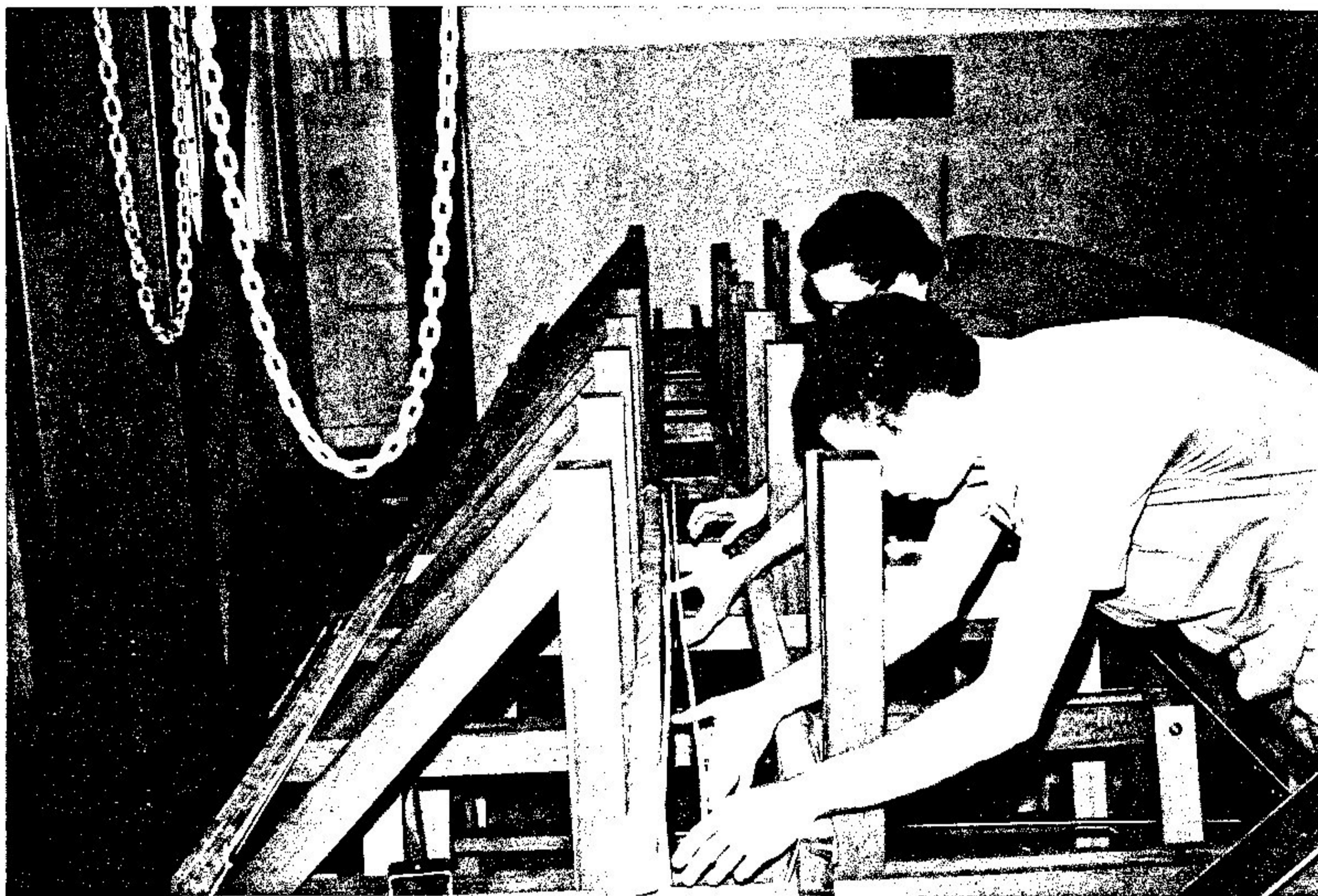


Figura 3.11 - Aplicação de adesivo

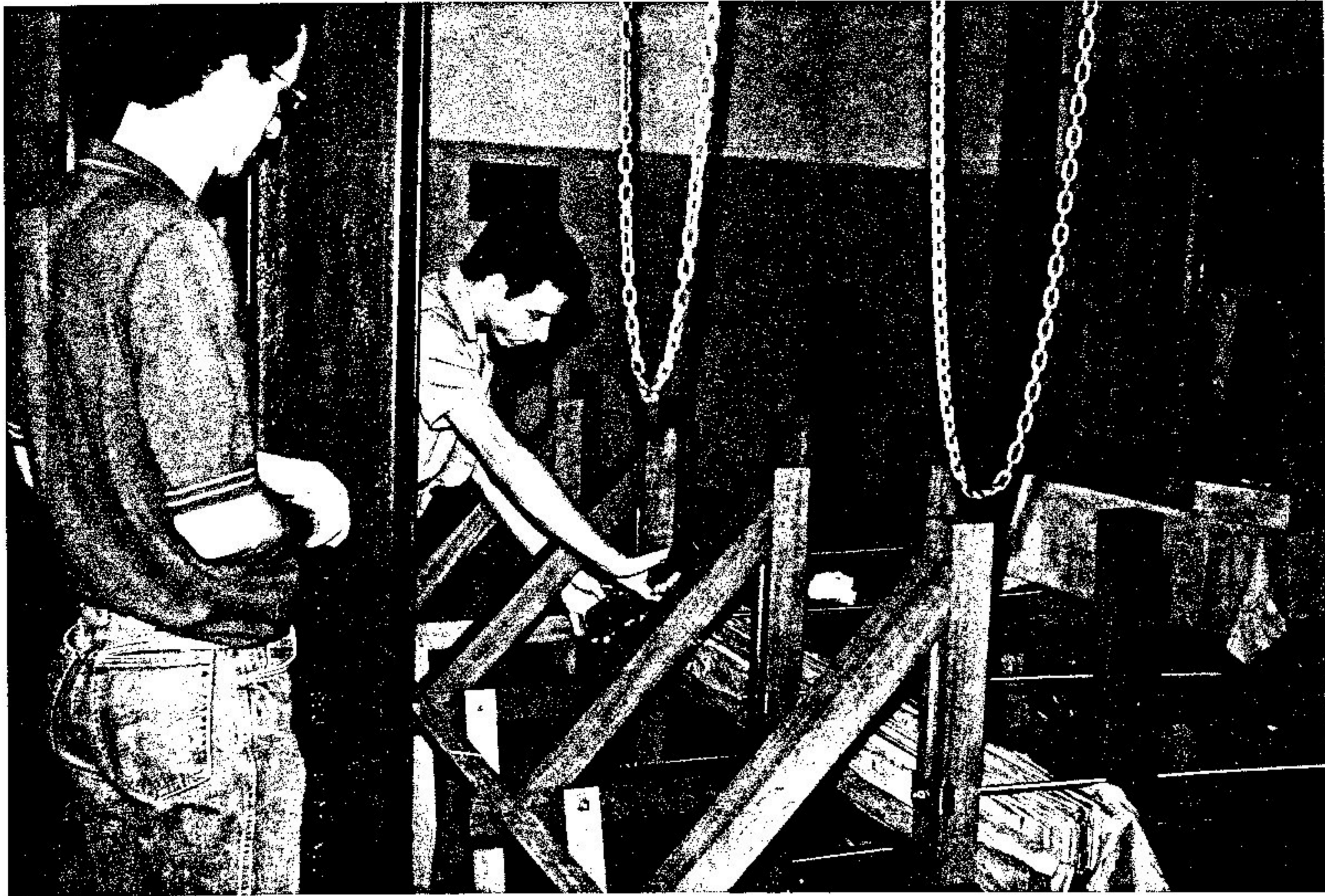


Figura 3.12 - Aplicação de pressão de aperto

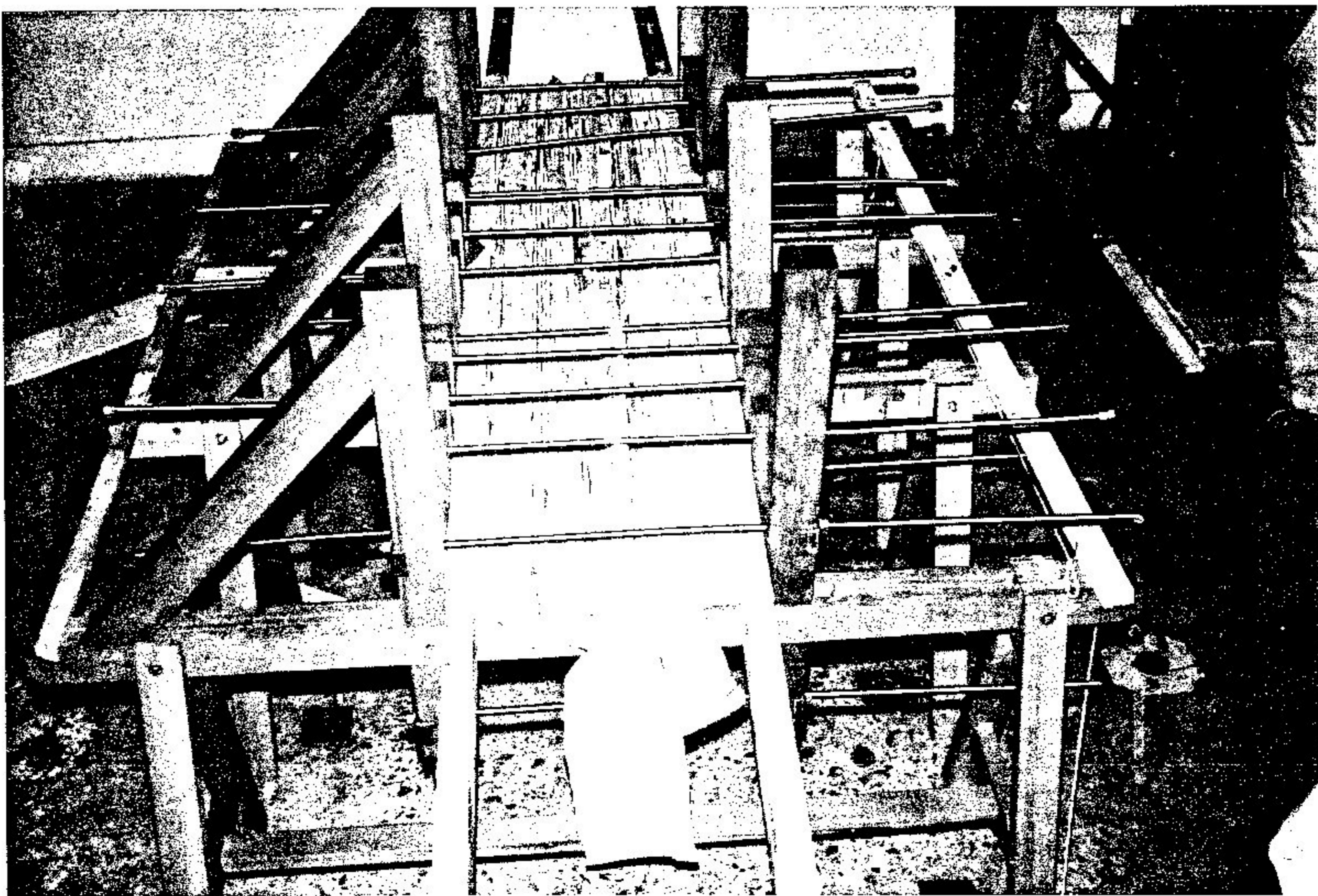


Figura 3.13 - Vista das vigas sendo submetidas à pressão de aperto

3.4.5 - Dimensões dos modelos de ensaio

As dimensões das vigas de ensaio encontram-se na tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Dimensões das vigas de ensaio

MODELO ORIGINAL	MODELO FINAL	DIMENSÕES (cm)		
		LARGURA	COMPRIMENTO	ALTURA
I	1	2,395	163,0	7,2
	2	2,405	162,9	7,2
	3	2,385	162,9	7,2
II	4	2,175	162,9	7,0
	5	2,430	162,9	7,0
	6	2,400	162,9	7,0
III	7	2,415	162,8	7,1
	8	2,410	162,8	7,1
IV	9	2,365	163,0	7,1
	10	2,395	163,0	7,1
V	11	2,370	163,0	7,1
	12	2,410	163,0	7,1
VI	13	2,385	162,8	7,0
	14	2,385	162,8	7,0
VII	15	2,415	162,8	7,0
	16	2,410	162,8	7,0

Tabela 3.15 - Dimensões das vigas de ensaio
(continuação)

MODELO ORIGINAL	MODELO FINAL	DIMENSÕES (cm)		
		LARGURA	COMPRIMENTO	ALTURA
VIII	17	2,415	162,8	7,1
	18	2,415	162,8	7,1
IX	19	2,395	162,6	7,1
	20	2,395	162,7	7,1

3.5 - Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram macaco hidráulico, relógios comparadores, balança e micro-computador.

O sistema de carregamento está mostrado na fotografia da figura 3.14.

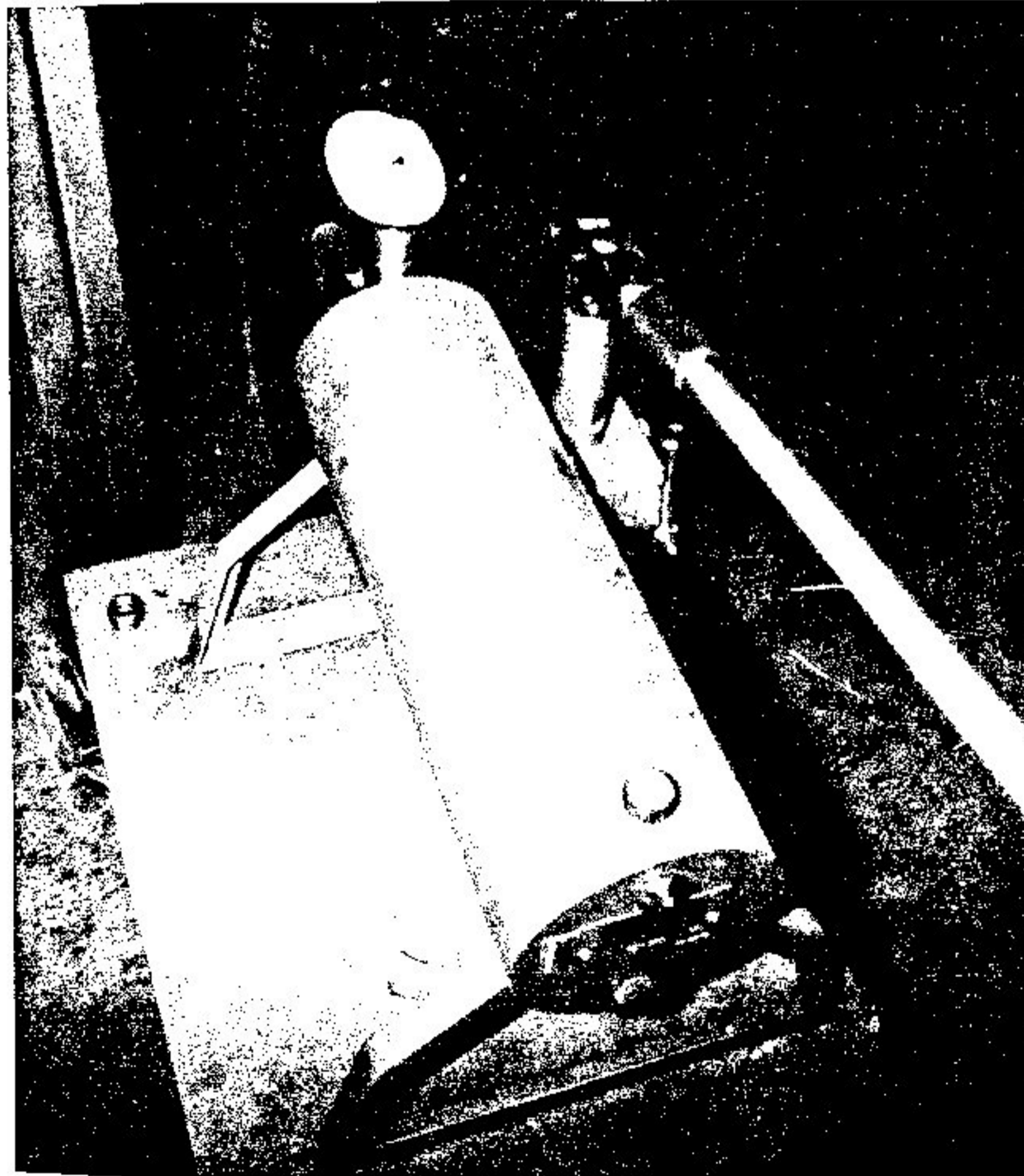


Figura 3.14 - Sistema de carregamento

4 - ANÁLISE TEÓRICA

4.1 - *Método da homogeneização para dimensionamento de vigas de madeira laminada colada*

Este método, para análise teórica de vigas, baseia-se na equivalência da força total interna e na proporcionalidade desta força em relação aos parâmetros elásticos dos materiais que compõem a seção transversal da peça. As seguintes hipóteses são consideradas:

- não existe o deslocamento relativo entre lâminas;
- as seções planas permanecem planas após a solicitação;
- as deformações são diretamente proporcionais às alturas em relação à linha neutra;
- a lei de Hooke é válida.

ETHINGTON (1968), em sua formulação, considerou uma viga de seção transversal retangular, composta de 3 lâminas que apresentavam propriedades diferentes umas das outras, e submetidas a esforços no plano vertical simétrico perpendicular à seção transversal da peça. Além das hipóteses já descritas no parágrafo anterior, ele considerou em sua formulação que a concentração de tensões, devido à linha adesiva, seria desprezada.

O método, que será utilizado no presente trabalho, é uma generalização da formulação apresentada por ETHINGTON. Tal generalização foi desenvolvida por MANTILLA, CARRASCO (1989). Esta será apresentada no subitem a seguir.

4.1.1 - *Generalização da formulação de ETHINGTON*

Considere-se a figura 4.1.

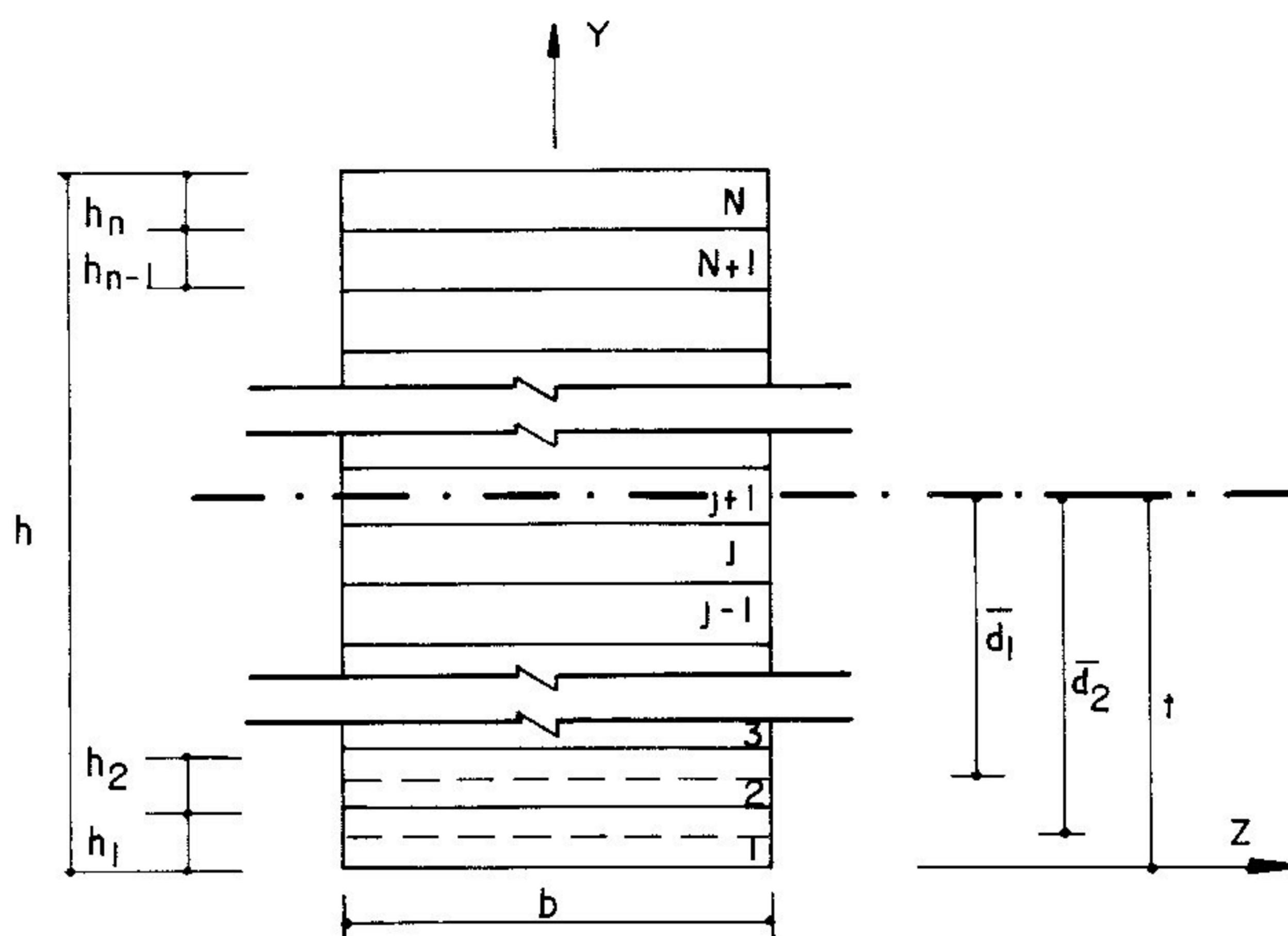


Figura 4.1 - Seção transversal de uma viga de madeira laminada colada

A deformação, em qualquer ponto da seção transversal, poderá ser obtida pela seguinte equação:

$$\varepsilon_x = ky. \quad (4.1)$$

A tensão longitudinal, atuante em qualquer ponto da altura da lâmina j , poderá ser obtida substituindo-se a equação (4.1) na equação da Lei de Hooke:

$$\sigma_x^j = k E_j y_j, \quad (4.2)$$

onde k = curvatura da viga;

E_j = módulo de elasticidade longitudinal da lâmina onde se deseja calcular a tensão;

y_j = altura do ponto onde se deseja calcular a tensão.

O momento resistente interno, que é o momento resultante de todas as forças atuantes em qualquer seção, será obtido pela seguinte equação:

$$M = \int \sigma_x^j y_j dA. \quad (4.3)$$

Substituindo-se na equação anterior a equação (4.2), tem-se:

$$M = k \int E_j y_j^2 dA . \quad (4.4)$$

Definindo-se $\int E_j y_j^2 dA$ como sendo a rigidez da viga composta, \overline{EI} , e substituindo-se isso na equação anterior, tem-se:

$$M = k \overline{EI} . \quad (4.5)$$

Obtendo-se o valor de k , a partir da equação anterior, e substituindo-o na equação (4.2), obtém-se a equação final para cálculo de tensões longitudinais na viga. Esta será apresentada a seguir:

$$\sigma_x^j = \frac{M E_j}{\overline{EI}} (t - y_j) , \quad (4.6)$$

onde y_j = altura do ponto onde se deseja calcular a tensão;

t = altura da linha neutra;

\overline{EI} = rigidez da viga;

E_j = módulo de elasticidade da lâmina onde se deseja calcular a tensão;

M = momento fletor.

A equação, para a determinação da altura da linha neutra, será apresentada a seguir:

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i d_i}{\sum_{i=1}^n E_i h_i} , \quad (4.7)$$

onde

$$d_i = \sum_{j=1}^{i-1} h_j + \left(\frac{h_i}{2}\right) , \quad (4.8)$$

portanto

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i \left[\sum_{j=1}^{i-1} h_j + \left(\frac{h_i}{2}\right) \right]}{\sum_{i=1}^n E_i h_i} \quad (4.9)$$

A equação para a determinação da rigidez da viga é a seguinte:

$$\overline{EI} = \sum_{i=1}^n E_i I_i + b \sum_{i=1}^n E_i h_i (\overline{d}_i)^2, \quad (4.10)$$

onde

$$\overline{d}_i = t - d_i. \quad (4.11)$$

Portanto

$$\begin{aligned} \overline{EI} = & \sum_{i=1}^n E_i I_i \\ & + b \sum_{i=1}^n E_i h_i \left[t - \left(\sum_{j=1}^{i-1} h_j + \left(\frac{h_i}{2}\right) \right) \right]^2. \end{aligned} \quad (4.12)$$

4.2 - Influência dos nós na resistência de peças de madeira laminada colada

O efeito dos nós, na resistência de peças de madeira laminada colada, vai depender de seu tamanho, de sua localização na lâmina e da posição da lâmina dentro da seção transversal da peça.

A redução da resistência à flexão de uma viga de madeira laminada colada, devido à presença de nós, pode ser atribuída à redução em sua área da seção transversal, sendo o valor desta redução igual a área ocupada pelo nó. Isso provocaria uma redução do momento de inércia da peça. Portanto, fica claro que um nó, próximo da linha neutra da peça, teria apenas uma pequena fração no efeito de redução da resistência à flexão, do que teria um nó do mesmo tamanho que estivesse localizado distante da linha neutra e próximo das superfícies externas da viga.

A metodologia de fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada permite que o efeito dos nós na resistência destes seja minimizado. Isto é feito dispondo-se lâminas de melhor qualidade (as que possuem nós pequenos) nas regiões mais externas da seção transversal, onde sua resistência maior poderá ser efetivamente utilizada, e dispondo-se lâminas de pior qualidade (as que possuem nós maiores) na região central da seção transversal, onde sua resistência mais baixa não afetará grandemente a resistência da peça.

Estudos quanto à frequência dos nós, realizados nos EUA e Canadá, têm mostrado que mesmo para um posicionamento aleatório de lâminas é improvável que esses nós coincidam em uma seção transversal. Se for construída uma viga composta apenas de duas lâminas, utilizando-se uma qualidade de madeira, a possibilidade de que dois nós, do tamanho máximo permitido para essa qualidade de madeira, coincidam em uma mesma seção transversal, é bastante remota. Com o aumento do número de lâminas, tal possibilidade torna-se ainda mais remota.

Portanto, o valor da razão entre a resistência à flexão de uma viga em análise pela resistência à flexão de uma viga isenta de defeitos (ver figura 2.2) está relacionado com a probabilidade de ser encontrada uma maior concentração de nós em uma mesma seção transversal de uma peça, e com o número total de lâminas presentes na seção transversal. Então, o valor dessa razão para uma peça laminada colada que possua um grande número de lâminas, será maior que o de uma peça que tenha sido feita com o mesmo material que esta anterior e que possua a mesma umidade, mas que contenha um número menor de lâminas.

O fator determinante, para a análise da influência dos nós na resistência de vigas de madeira laminada colada, é o fator I_k/I_g , onde I_k é a soma dos momentos de inércia das áreas da seção transversal de todos os nós presentes dentro de um comprimento de 6 in (15,24 cm), a partir de uma única seção transversal, e I_g é o momento de inércia da seção transversal total. As relações, entre a resistência à flexão e módulo de elasticidade com o fator I_k/I_g , foram determinadas por FREAS e SELBO (1954), após inúmeros ensaios de vigas laminadas, contendo as mais variadas concentrações de nós. Como

resultado dos seus estudos, esses pesquisadores obtiveram gráficos que representam a influência do fator I_k/I_g sobre a resistência à flexão e sobre o módulo de elasticidade (figuras 2.2 e 2.4).

Uma vez que o fator I_k/I_g já foi relacionado com a resistência à flexão e com o módulo de elasticidade, devemos determiná-lo se quisermos saber qual a influência dos nós na resistência de peças de madeira laminada colada.

Nos subitens que se seguem serão apresentados dois métodos: um para classificação de tábuas (de acordo com o tamanho do nó) e um para a determinação do fator I_k/I_g .

4.2.1 - Determinação do tamanho do nó

Sabe-se que tábuas podem apresentar nós dos mais variados tamanhos. O tamanho do nó define a qualidade da tábua. De acordo com as normas canadenses, são definidas 4 qualidades para as tábuas:

- qualidade A - os nós ocupam no máximo 1/10 da seção transversal;
- qualidade B - os nós ocupam no máximo 1/4 da seção transversal;
- qualidade C - os nós ocupam no máximo 2/5 da seção transversal;
- qualidade D - os nós ocupam no máximo 1/2 da seção transversal.

Os nós presentes nas tábuas deverão ser medidos da seguinte maneira:

- a) o tamanho do nó é determinado medindo-se a distância entre duas linhas paralelas que façam externamente o nó e que são perpendiculares à largura da tábua (figura 4.2.a);
- b) se houver dois ou mais nós dispostos, ou praticamente dispostos em linha, e desde que a distância interna entre o 1^o e o último nó da linha não supere 6 in (15,24 cm), estes nós poderão ser medidos como sendo apenas um; o tamanho a ser

registrado para este será igual à distância entre duas linhas paralelas que faceiam externamente, tanto o 1^o quanto o último nó da linha (figura 4.2.b);

- c) se houver dois ou mais nós dispostos em uma mesma seção transversal, seus tamanhos deverão ser registrados separadamente, lembrando-se de que a soma do tamanho deles não poderá superar o tamanho máximo permitido ao nó, para a qualidade de madeira utilizada (figura 4.2.c);
- d) será permitida em uma mesma tábua a presença de dois ou mais nós, do tamanho máximo permitido ao nó para a qualidade de madeira utilizada, desde que a distância entre os centros de cada um desses nós não seja menor que a largura da tábua (figura 4.2.d);
- e) a soma do tamanho de todos os nós, dentro de qualquer intervalo de 8 ft (2,44 m), não poderá exceder 4,5 vezes o tamanho máximo permitido ao nó, para a qualidade de madeira utilizada.

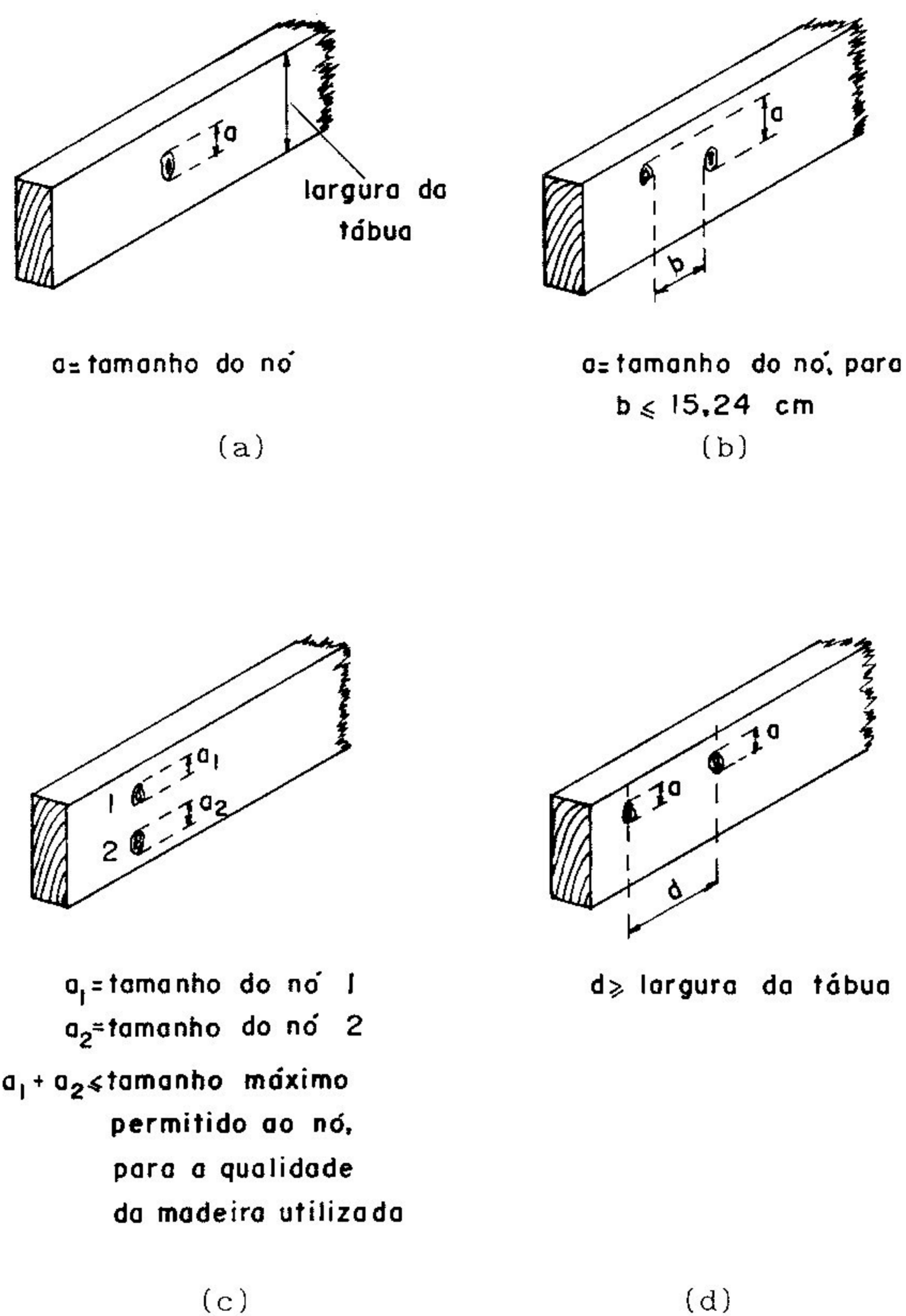


Figura 4.2 - Determinação do tamanho do nó

4.2.2 - Determinação do fator I_k/I_g

De acordo com os gráficos das figuras 2.2 e 2.4, nota-se que quanto menor for o valor do fator I_k/I_g , maior será o valor da razão entre a resistência à flexão de uma viga em análise pela resistência à flexão de uma viga isenta de defeitos e entre o módulo de elasticidade de uma viga em análise pelo módulo de elasticidade de

uma viga isenta de defeitos. Para que esse fator apresente um valor pequeno, as lâminas que possuem uma maior concentração de nós devem ser dispostas, durante a montagem da peça, mais próximas da linha neutra. As lâminas, que possuem uma menor concentração de nós, devem ser dispostas a uma distância maior da linha neutra. O fator I_k/I_g , calculado para uma peça construída seguindo-se tais especificações, possuirá o pequeno valor desejado. No entanto, a construção de uma peça dessa maneira é bastante trabalhosa. Torna-se necessária, então, a utilização de um outro método para a obtenção deste fator.

Uma aproximação, para a determinação do fator I_k/I_g , é assumir que o nó máximo permitido pelas regras de classificação estará presente em cada lâmina, dentro de um intervalo de 1 ft (30,48 cm), cujo centro é uma seção transversal crítica (dá-se o nome de seção crítica a uma seção transversal da peça onde existe uma concentração excessiva de nós). No entanto, sabe-se que algum grau de dispersão dos nós deverá ocorrer, e esta dispersão tornaria pequena a probabilidade de ocorrência da concentração de nós desta maneira. É desejável, então, encontrar maneiras de se avaliar a probabilidade de ocorrência de vários níveis de I_k/I_g , e usar em projeto um valor de I_k/I_g com algum razoável nível de probabilidade. Um estudo feito pela National Lumber Association e pela Forest Products Laboratory levou ao procedimento a ser seguido para a estimação de valores de I_k/I_g .

Para esse estudo, cada qualidade de madeira foi representada por um número de amostras que ia de 50 a 200, sendo que estas foram tomadas de um variado número de fontes, de maneira que se obtivesse uma representação adequada do lote. Foi assumido que qualquer ponto em qualquer lâmina poderia estar dentro de um intervalo de 1 ft (30,48 cm), cujo centro é a seção transversal crítica da peça. Era necessário, então, estudar a soma do tamanho dos nós presentes dentro de vários intervalos de 1 ft. Visto que não era suficiente dividir as lâminas em intervalos de 1 ft a partir das bordas, e registrar o valor da soma do tamanho dos nós presentes naqueles intervalos, esta soma foi obtida para os intervalos de 1 ft que se iniciavam a cada 2 in (5,08 cm). Como primeiro procedimento para o estabelecimento das probabilidades de ocorrência dos vários valores de I_k/I_g , foram calculados valores de I_k/I_g para um número considerável

de montagens, com lâminas escolhidas aleatoriamente. Esses cálculos foram feitos para 100 montagens de peças, para um número de lâminas que ia de 2 a 16. Posteriormente, todos esses valores obtidos foram analisados.

De acordo com FREAS e SELBO (1954), tal procedimento ainda era por demais trabalhoso para uma aplicação prática. Portanto, um novo método foi desenvolvido. Segundo esses pesquisadores, foi concebido que, se a distribuição do tamanho dos nós para cada qualidade de tábuas fosse estudada, seria possível utilizar as características dessas distribuições, de acordo com procedimentos estatísticos preestabelecidos, para calcular os valores limites de I_k/I_g para montagens feitas com lâminas de uma única qualidade, ou para uma combinação de lâminas de várias qualidades. Este conceito formou a base do método que foi finalmente adotado.

Se a distribuição do tamanho dos nós for normal, esta poderá ser completamente descrita por dois parâmetros, a saber: \bar{x} (média da amostra) e S (desvio padrão da amostra). Para uma distribuição normal, e para um nível de significância igual a 1%, existe 99% de probabilidade de que o valor de μ caia dentro do intervalo $\bar{x} \pm 2,326.S$. Visto que o uso do fator 2,326 é incorreto para uma distribuição não normal, podemos substituir o produto 2,326.S pela diferença entre o tamanho dos nós no nível 1% e a média obtida da distribuição dos valores. Assim, I_k/I_g no nível 1% será:

$$\frac{\bar{x} \sum F + (m - \bar{x}) \sqrt{\sum F^2}}{I_g}, \quad (4.13)$$

onde m = tamanho do nó no nível 1%;

F = fator de peso, que reflete o efeito da posição da lâmina dentro da peça, em relação à linha neutra.

Foram executados cálculos, considerando-se procedimentos estatísticos, para duas qualidades de tábuas, vindas de amostras tiradas apenas de dois lotes, obtendo-se duas séries de valores de I_k/I_g . Foram também determinadas séries de valores de I_k/I_g , para as mesmas amostras, considerando-se o procedimento descrito

anteriormente, relativo ao estudo feito pela NATIONAL LUMBER ASSOCIATION e pela FOREST PRODUCTS LABORATORY. A razoável concordância entre as séries de valores obtidos pelos dois procedimentos foi evidente, indicando a aplicabilidade do procedimento estatístico.

Foram executados cálculos similares, também para duas qualidades de tábuas, só que agora utilizando-se valores de m e \bar{x} vindos de amostras tiradas de vários lotes. Notou-se que as séries de valores de I_k/I_g obtidos dessa maneira possuíam, em muitos casos, valores mais baixos que os das séries de valores obtidos por cálculos, onde se considerou o procedimento adotado no estudo realizado pela NATIONAL LUMBER ASSOCIATION e pela FOREST PRODUCTS LABORATORY. Isso deveu-se à grande variabilidade nas características das tábuas. Portanto, ficou evidente que o limite de exclusão de 1% para I_k/I_g , utilizado como base para todas as amostras de uma qualidade específica, seria excedido em mais de 1% quando fossem feitas montagens utilizando-se amostras tiradas das piores partes das tábuas.

Assim, foi recomendado que, como base para projeto, valores de I_k/I_g , baseados nas características de todas as amostras de uma qualidade, fossem calculados no nível de 0,5%.

O método que será utilizado no presente trabalho para a determinação de I_k/I_g , foi proposto por FREAS e SELBO (1954). Esse método baseia-se no posicionamento aleatório de lâminas, por ocasião da montagem da peça. Ou seja, as lâminas serão dispostas na seção transversal de uma peça independentemente da quantidade, tamanho e posição dos nós nelas presentes. Mas, antes de utilizar esse método, as tábuas devem ser classificadas. Deve-se, em 1^o lugar, definir qual será a qualidade das tábuas com a qual se deseja trabalhar. Visto que cada qualidade de tábua fixa um tamanho máximo para o nó, ao definir-se uma qualidade para trabalharmos, estamos fixando qual deverá ser o tamanho máximo que os nós presentes em nossas tábuas poderão apresentar.

Nos subitens que se seguem, está uma descrição passo a passo do procedimento a ser utilizado para a aplicação do método, para tábuas de uma qualidade em particular.

4.2.2.1 - *Registro de informações quanto ao tamanho do nó e sua localização na tábua*

Sugere-se que não menos de 50 tábuas de uma única qualidade sejam utilizadas como amostras, e que estas sejam aleatoriamente escolhidas entre vários lotes, para assim serem mais representativas da qualidade de madeira com que se está trabalhando. Nenhuma seleção especial deverá ser feita com relação às tábuas que serão utilizadas. A única exigência é que estas respeitem as regras de classificação para a qualidade escolhida.

Cada tábua deverá ter seu comprimento e nós (tamanho e localização) registrados. Esse registro deverá ser feito utilizando-se uma tabela. A tabela deverá apresentar, para cada tábua, todas as informações especificadas acima. Nessa tabela, a parte específica, onde os nós serão registrados, é uma grade. Nessa grade, o comprimento na direção horizontal é dividido em intervalos de 30 cm (1 ft), sendo que cada um desses intervalos é dividido em subintervalos de 5 cm (2 in). Na direção vertical, o comprimento é dividido em intervalos de 5 cm (2 in). Dessa forma, cada peça (tábua) poderá ser registrada na tabela. O número de intervalos de 5 cm, na direção vertical, que deverá ser reservado para cada tábua, vai depender da largura da mesma. O tamanho do nó a ser registrado na grade deverá ser dividido por 0,5 cm.

Um exemplo desse tipo de tabela está apresentado na figura 4.3. Para tal exemplo, a largura das peças (tábuas) era de 20 cm; portanto, utilizou-se para cada tábua 4 intervalos de 5 cm na direção vertical. O número total de intervalos de 30 cm presentes nas grades não foi especificado, pois ele vai depender do comprimento das tábuas a serem analisadas. O ideal é que cada tabela possua a grade com o maior número possível de intervalos de 30 cm, para que possam ser analisadas tábuas dos mais variados comprimentos.

PEÇA No.	COMPR. (m)	ESPÉCIE:	CONJUNTO:		
		DISTÂNCIA DA EXTREMIDADE (m)			
			0,30	0,60	0,90
1					
2					
3					
m-1					
m					

Figura 4.3 - Tabela para registro das posições e tamanho (em unidades de 0,5 cm) dos nós

Para que os nós presentes nas tábuas sejam devidamente localizados, para depois serem registrados em tabelas do tipo apresentado na figura 4.3, deve-se confeccionar pequenas grades em papel vegetal, de comprimento igual a 30 cm e largura igual à largura da tábua (o número de grades, que deverá ser fabricado, vai depender da largura das tábuas a serem analisadas; se todas as tábuas forem da mesma largura, só uma grade será fabricada). Essas grades deverão apresentar linhas verticais e horizontais espaçadas de 5 cm. Utilizando-se uma fita métrica, cada tábua deverá ser dividida em intervalos de 30 cm. Feito isso, essa pequena grade deverá ser colocada sobre cada intervalo de 30 cm, registrando-se assim a posição e tamanho de cada nó presente nesse intervalo.

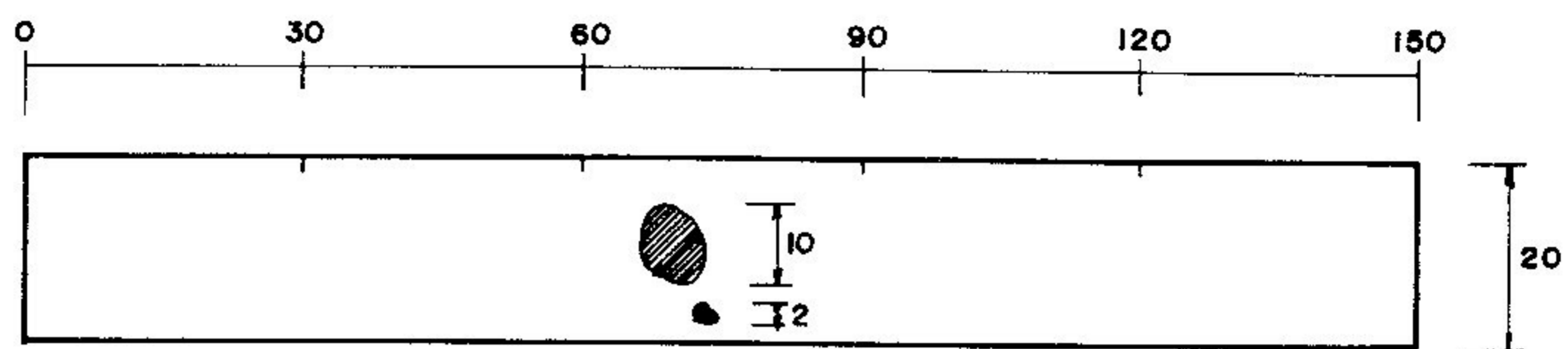
No caso do nó ocupar mais de um quadrinho, o procedimento, que deverá ser seguido para fazer o registro do seu tamanho, será apresentado a seguir na forma de um exemplo numérico.

EXEMPLO

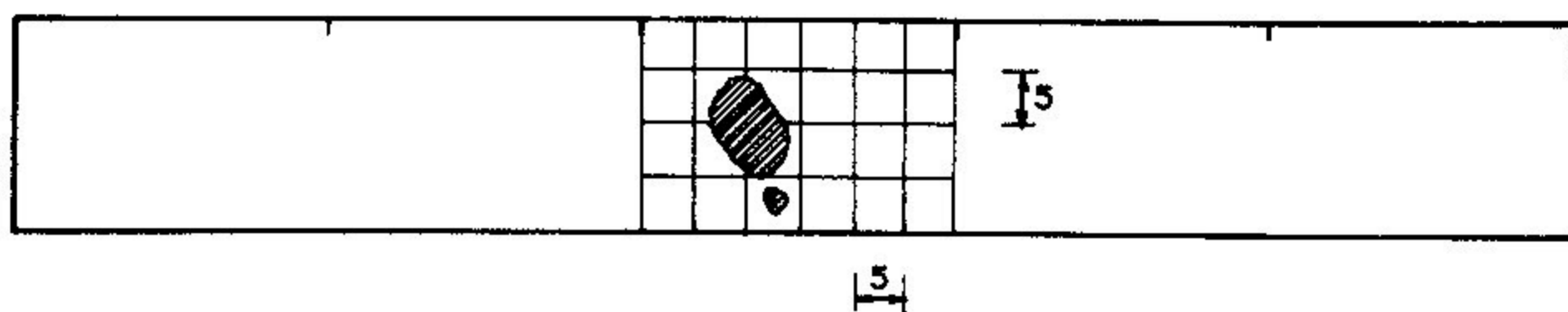
Considere-se uma tábua de comprimento igual a 150 cm e com uma largura igual a 20 cm. Essa tábua possui dois nós na porção central de seu comprimento. Deseja-se registrar o tamanho desses nós em uma tabela do tipo proposto na figura 4.3.

resolução:

- a) Como primeiro procedimento, deve-se dividir o comprimento total da tábua em intervalos de 30 cm (figura 4.4.a);
- b) Como segundo procedimento, deve ser colocada em cima da tábua, na porção onde existem os nós, a grade de papel vegetal, para registrar o tamanho e localização deles (figura 4.4.b);
- c) Como terceiro procedimento, deve-se registrar o tamanho e a localização dos nós na tabela apropriada (figura 4.4.c).



(a)



(b)

PEÇA No.	COMPR (m)	ESPECIE: Pinus Elliotti		CONJUNTO: I		
		DISTÂNCIA DA EXTREMIDADE (m)				
		0,30	0,60	0,90	1,20	1,50
1	1,50					

(c)

Figura 4.4 - Procedimento a ser seguido para a medição do tamanho do nó

4.2.2.2 - Registro do valor da soma do tamanho dos nós (em unidades de 0,5 cm), dentro de intervalos de 30 cm

Deve-se levar em conta o fato de que qualquer intervalo de 30 cm, de qualquer tábua, poderá estar na seção crítica da peça de madeira laminada colada. Essa seção crítica não precisa,

necessariamente, estar localizada dentro de um dos intervalos fechados de 30 cm em que a tábua foi inicialmente dividida, pois tal divisão foi feita para que os nós aí presentes tivessem suas posições e tamanhos (em unidades de 0,5 cm) registrados. Para levar em conta esse fato e, efetivamente, aumentar o tamanho da amostra a ser analisada, é desejável que a soma do tamanho dos nós (em unidades de 0,5 cm) não seja tomada apenas uma vez dentro de cada um dos intervalos. Se considerássemos apenas a soma do tamanho de todos os nós aí presentes, estaríamos considerando obrigatória a presença da seção crítica da peça dentro dos intervalos, o que pode não ser verdade.

Sugere-se então que o tamanho dos nós presentes dentro de cada um dos intervalos de 30 cm, registrados em tabelas do tipo mostrado na figura 4.3, seja somado considerando-se os procedimentos que serão apresentados no roteiro a seguir.

ROTEIRO

- 1) Deve ser considerada uma grade fictícia de comprimento igual a 30 cm. Essa grade deverá ser posicionada à esquerda de um dos intervalos de 30 cm mostrados na tabela da figura 4.3. Esse posicionamento deve ser feito de maneira que o tamanho do nó (ou nós), que estiver registrado do lado esquerdo desse intervalo, ocupará a porção direita da grade fictícia, no último (ou últimos) subintervalo de 5 cm de largura desta, e que a porção esquerda dessa grade não englobe nenhum tamanho do nó, registrado no intervalo de 30 cm, localizado imediatamente à esquerda do intervalo considerado. A quantidade de nós, que ficará posicionada na porção direita dessa grade fictícia, para esta primeira situação, vai depender da existência e da posição dos nós presentes no intervalo de 30 cm, localizado imediatamente à esquerda desse primeiro intervalo considerado.
- 2) Deve ser registrado o valor da soma do tamanho dos nós presentes dentro da grade fictícia, para essa primeira

situação.

- 3) A grade deverá ser deslocada da esquerda para a direita, de 5 em 5 cm, registrando-se o número de deslocamentos que poderão ser feitos, sem que essa soma seja alterada.
- 4) Se ao se deslocar a grade da esquerda para a direita, outro tamanho do nó for englobado, o valor desta nova soma deverá ser registrado. Deverá ser registrado também o número de deslocamentos que poderão ser feitos, sem que o valor da nova soma seja alterado, ou seja, antes que um novo tamanho de nó seja englobado. Quando isso acontecer, o processo deverá ser repetido, até que o comprimento total do intervalo considerado seja abrangido. Deve-se lembrar que o último deslocamento da grade fictícia não deverá englobar nenhum tamanho de nó, presente no intervalo de 30 cm, localizado imediatamente à direita desse intervalo que está sendo considerado.
- 5) Deve-se repetir o processo para todos os outros intervalos, ao longo do comprimento da tábua.

Obs.: para que tal processo seja aplicado, para cada tábua registrada em tabelas do tipo da apresentada na figura 4.3, devemos considerar que o primeiro intervalo de 30 cm da esquerda está ligado ao último da direita.

O número de intervalos de 30 cm a serem analisados, iguala-se a 6 vezes o número total de intervalos de 30 cm presentes no comprimento total de uma tábua.

Estes registros deverão ser apresentados na forma de uma tabela, que deverá ser da seguinte maneira:

- na coluna (1), será registrado o número de cada peça (tábua);
- na coluna (2), será registrado o número total de intervalos de 30 cm, presentes no comprimento de cada peça, multiplicados por 6;

- na coluna (3), será registrado o resultado da subtração dos valores presentes nas colunas de (4) a (n) do valor da coluna (2);
- nas colunas de (4) a (n), serão registrados os valores da soma do tamanho dos nós, em unidades de 0,5 cm, presentes em cada intervalo de 30 cm, ou seja, será registrado o número de deslocamentos que a grade fictícia pode realizar, para cada valor da soma do tamanho dos nós, sendo que o valor da soma do tamanho dos nós virá no cabeçalho de cada coluna, e os valores que aparecerão nas colunas à esquerda do sinal de igualdade representarão as ocorrências individuais de uma soma em particular; já os valores que aparecerão à direita do sinal de igualdade, representarão o número total de ocorrências para aquela soma do tamanho dos nós em particular;
- a última linha da tabela deverá apresentar um somatório de cada coluna.

O modelo deste tipo de tabela está apresentado na figura

4.5.

PEÇA No.	No. DE COMPR. DE 30 CM (x6)	SOMA DO TAMANHO DOS NÓS (EM UNIDADES DE 0.5 cm)					j (n)
		0 (3)	1 (4)	2 (5)	3 (6)		
(1)	(2)						
1							
2							
3							
m-1							
m							
Σ							

Figura 4.5 - Tabela para registro da soma do tamanho de nós

4.2.2.3 - *Resumo dos valores totais obtidos no item anterior*

Estas informações serão resumidas em nova tabela, que deverá ser da seguinte maneira:

- na coluna (1), serão registrados os valores das somas do tamanho dos nós, em unidades de 0,5 cm, obtidos dentro dos intervalos de 30 cm;
- nas colunas de (2) a (n), serão registrados os valores totais de ocorrências para cada soma do tamanho de nós em particular, sendo que o número n de colunas vai depender do número de conjuntos em que as tábuas serão divididas dentro de um lote;
- na coluna (n+1), será registrado o total de cada linha, que representa o total para cada soma do tamanho dos nós em particular;
- na coluna (n+2), será registrado o total acumulado;
- na coluna (n+3), será registrada a porcentagem da frequência acumulativa, em relação ao total da coluna (n+1), ou seja, cada valor da coluna (n+2) deverá ser dividido pelo total da coluna (n+1) e multiplicado por 100%, registrando-se na coluna (n+3) os resultados dessa operação;
- na coluna (n+4), será registrado o resultado da multiplicação da coluna (n+1) pela coluna (1);

Tal resumo apresentado nesta tabela nos dará uma visão total da frequência de ocorrência de vários valores de soma de tamanho de nós.

O modelo desse tipo de tabela será apresentado na figura 4.6.

SOMA DO TAMANHO DOS NÓS	SOMA TOTAL DAS OCORRÊNCIAS PARA CADA CONJUNTO			PARA TODAS AS AMOSTRAS				
	1	2	3	j	TOTAL	TOTAL ACUMU- LADO	FRE- QUÊN- CIA	SOMA TOTAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(n)	(n+1)	(n+2)	(n+3)	(n+4)
1								
2								
3								
...								
m								
Σ						—	—	

Figura 4.6 - Tabela para registro da distribuição das somas do tamanho dos nós dentro de intervalos de 30 cm

4.2.2.4 - *Cálculo do valor médio para a soma do tamanho dos nós, para a qualidade de madeira estudada*

Para isto, deve-se dividir o total da coluna (n+4) pelo total da coluna (n+1). O resultado da operação está em unidades de 0,5 cm.

4.2.2.5 - *Determinação da freqüência normal de distribuição*

Deve-se plotar um gráfico, utilizando-se papel de probabilidade aritmética. O papel lineariza uma curva de distribuição

normal acumulada. Para esse gráfico, o eixo das abcissas será ocupado pela coluna (n+3), representando a frequência acumulativa. O eixo das ordenadas será ocupado pela coluna (1), representando a soma do tamanho dos nós em unidade de 0,5 cm.

Após isso, deve-se traçar a melhor reta por entre os pontos plotados. Este passo define a frequência normal de distribuição. Feito isso, deverá ser lido no eixo das ordenadas o valor da soma do tamanho dos nós, em unidades de 0,5 cm, para o limite de exclusão de 0,5%. Este valor lido não será excedido mais que 1 vez em 200.

4.2.2.6 - Determinação do fator I_k/I_g

Para uma peça possuindo todas as lâminas de uma só qualidade, deve-se utilizar a seguinte expressão:

$$R(v;2n) = \frac{\bar{x}_v}{b} + \frac{h_v}{b} \sqrt{\frac{\sum_0^{2n} F}{\sum_0^{2n} F}}, \quad (4.14)$$

onde $R(v;2n)$ = valor de I_k/I_g para uma viga com 2n lâminas na seção transversal, da qualidade v;

\bar{x}_v = valor médio para a soma do tamanho dos nós, para as tábuas da qualidade v;

h_v = diferença entre a soma do tamanho dos nós para o limite de exclusão escolhido e \bar{x}_v ;

b = largura das tábuas;

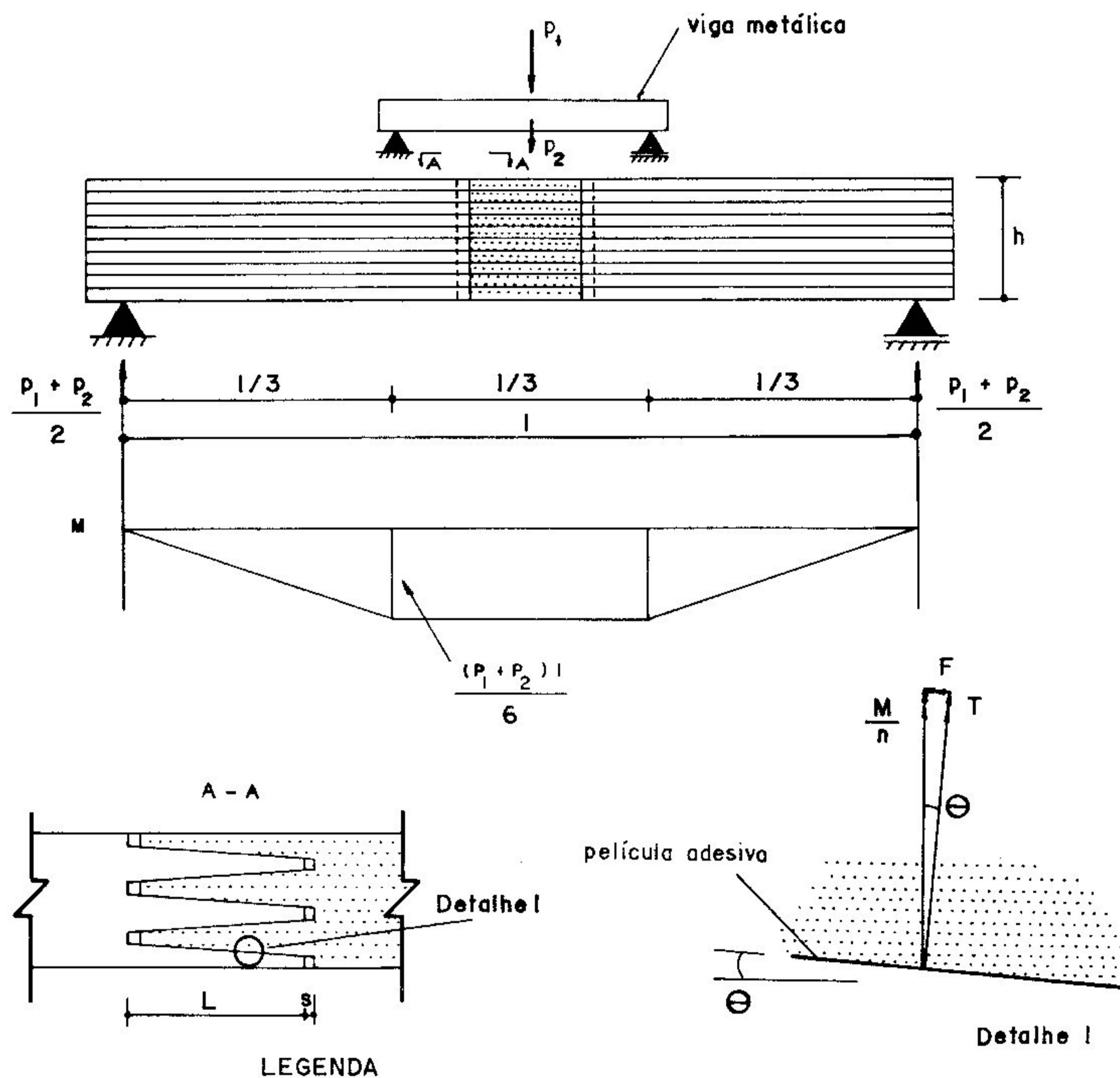
F = fator de peso, dependendo do número de lâminas na seção transversal da peça (Obs.: os valores de F, $\sum F$, etc., podem ser encontrados na tabela 4.1);

Tabela 4.1 - Fatores para uso no cálculo dos valores I_k/I_g , para uma distribuição característica de nós. FREAS e SELBO (1954)

Número de lâminas $=2N$	Fator de peso para a lâmina N a partir da Linha neutra $F=3N^2-3N+1$	Para 2N lâminas		
		$\Sigma F=2N^3$	$\Sigma F^2 = \frac{2(9N^5 - 5N^3 + N)}{5}$	$\sqrt{\frac{\Sigma F^2}{\Sigma F}}$
1	1/4	1/4	1/16	1,000
2	1	2	2	0,707
3	3 1/4	6 3/4	21 3/16	0,682
4	7	16	100	0,625
5	12 1/4	31 1/4	321 5/16	0,573
6	19	54	822	0,531
8	37	128	3.560	0,466
10	61	250	11.002	0,420
12	91	432	27.564	0,384
14	127	686	59.822	0,357
16	169	1.024	116.944	0,334
18	217	1.458	211.122	0,315
20	271	2.000	358.004	0,299
22	331	2.662	577.126	0,285
24	397	3.456	892.344	0,273
26	469	4.394	1.332.266	0,263
28	547	5.488	1.930.684	0,253
30	631	6.750	2.727.006	0,245
40	1.141	16.000	11.504.008	0,212
50	1.801	31.250	35.125.010	0,190

4.3 - Método para dimensionamento da emenda denteada

Considere-se a figura 4.7, que apresenta as emendas denteadas e o tipo de solicitação a que estas estão submetidas.



p_1 = Carga aplicada pelo cilindro hidráulico

p_2 = Peso da viga metálica

n = Número total de películas adesivas localizadas nas laterais dos dentes das emendas denteadas

Figura 4.7 - Emendas denteadas e sua solicitação

De acordo com essa figura, cada película adesiva está submetida a uma parcela do momento fletor total (M/n), que pode ser decomposta em um torçor (T) e um fletor (F). O momento fletor (F) será tanto menor quanto menor for o ângulo de inclinação do dente da emenda denteada.

Visto que para o tipo de emenda, que se pretende construir, este ângulo possuirá um valor pequeno, o dimensionamento

que ora se propõe será baseado na torção das películas adesivas localizadas nas laterais dos dentes da emenda denteada.

4.3.1 - Dimensionamento da película adesiva submetida à torção

A equação, que nos fornece a tensão máxima de cisalhamento, para uma seção retangular submetida à torção, TIMOSHENKO (1959), é:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T}{k a^2 b}, \quad (4.15)$$

onde T = momento torçor;

a = lado de menor dimensão da seção transversal;

b = lado de maior dimensão da seção transversal;

$$k = 0,33 - 0,22 \frac{a}{b} + 0,10 \left(\frac{a}{b}\right)^2.$$

As equações representativas da dimensão a e do momento torçor, atuante em cada película adesiva, são:

$$a = \frac{l - s}{\cos \theta}, \quad (4.16)$$

$$T = \frac{M}{n} \cos \theta, \quad (4.17)$$

Substituindo-se as equações (4.16) e (4.17) na equação (4.15), e fazendo-se nesta a dimensão b igual à altura h viga, obtém-se a equação (4.18). Esta equação nos permitirá calcular a tensão máxima de cisalhamento para uma seção retangular submetida à torção:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{M \cos^5 \theta h}{n (L - s)^2 B}, \quad (4.18)$$

onde M = momento fletor atuante;

h = altura da viga;

θ = ângulo de inclinação dos dentes;

n = número total de películas adesivas localizadas nas laterais

dos dentes da emenda denteada;

s = folga no fundo da emenda;

L = comprimento total dos dentes da emenda;

$$B = 0,33 h^2 \cos^2 \theta - 0,22 (L - s) h \cos \theta + 0,10 (L - s)^2$$

5 - PREVISÃO DE CARGA

5.1 - *Previsão da carga a ser aplicada nos modelos de ensaio*

De posse da equação (4.6), podemos calcular a tensão longitudinal de flexão para qualquer ponto da seção transversal. Para que esse cálculo seja realizado, deve-se saber o valor do momento fletor atuante no ponto onde se deseja calcular a tensão.

A previsão da carga será feita arbitrando-se um valor para a tensão longitudinal de flexão e, dessa maneira, determinando-se o valor do momento fletor atuante. De posse do valor determinado e utilizando-se de uma formulação proveniente da resistência dos materiais, a carga correspondente a este momento poderá ser calculada.

O valor da tensão longitudinal de flexão, a ser utilizado nesta previsão, foi obtido de MOLITERNO (1981), e é igual a 7,3 MPa (valor admissível). Dividindo-se esse valor por um coeficiente de segurança igual a 0,15, e considerando-se 2/3 desse valor, o valor obtido para a tensão longitudinal é 32,4 MPa, que corresponde à tensão no limite de proporcionalidade. Esse será o valor de tensão a ser utilizado nesta previsão.

5.1.1 - *Dimensionamento*

A equação, que será utilizada para a determinação do momento fletor, para que a tensão longitudinal de flexão atuante não supere o limite de proporcionalidade em nenhum ponto da seção transversal, é uma modificação da equação (4.6):

$$M = \frac{\sigma_x^j \cdot \overline{E I}}{E_j \cdot (t - y_j)}, \quad (5.1)$$

onde cada um dos termos componentes dessa equação já foi devidamente explicado no capítulo 4.

Visto que o valor de tensão longitudinal de flexão, aqui adotado, é referente à ruptura por tração, o momento fletor será calculado para a primeira lâmina da parte de baixo da viga, localizada na região tracionada. Portanto, o valor de y_j , que será utilizado nessa equação, será igual a zero.

Os momentos obtidos estão apresentados na tabela 5.1. As direções 1 e 2, que aparecem no cabeçalho dessa tabela, são referentes à direções adotadas para o carregamento. A tabela, portanto, fornece valores de momento, admitindo-se que uma mesma viga será submetida à duas hipóteses de carregamento. A figura 5.1 indicada o que significa cada uma destas hipóteses.

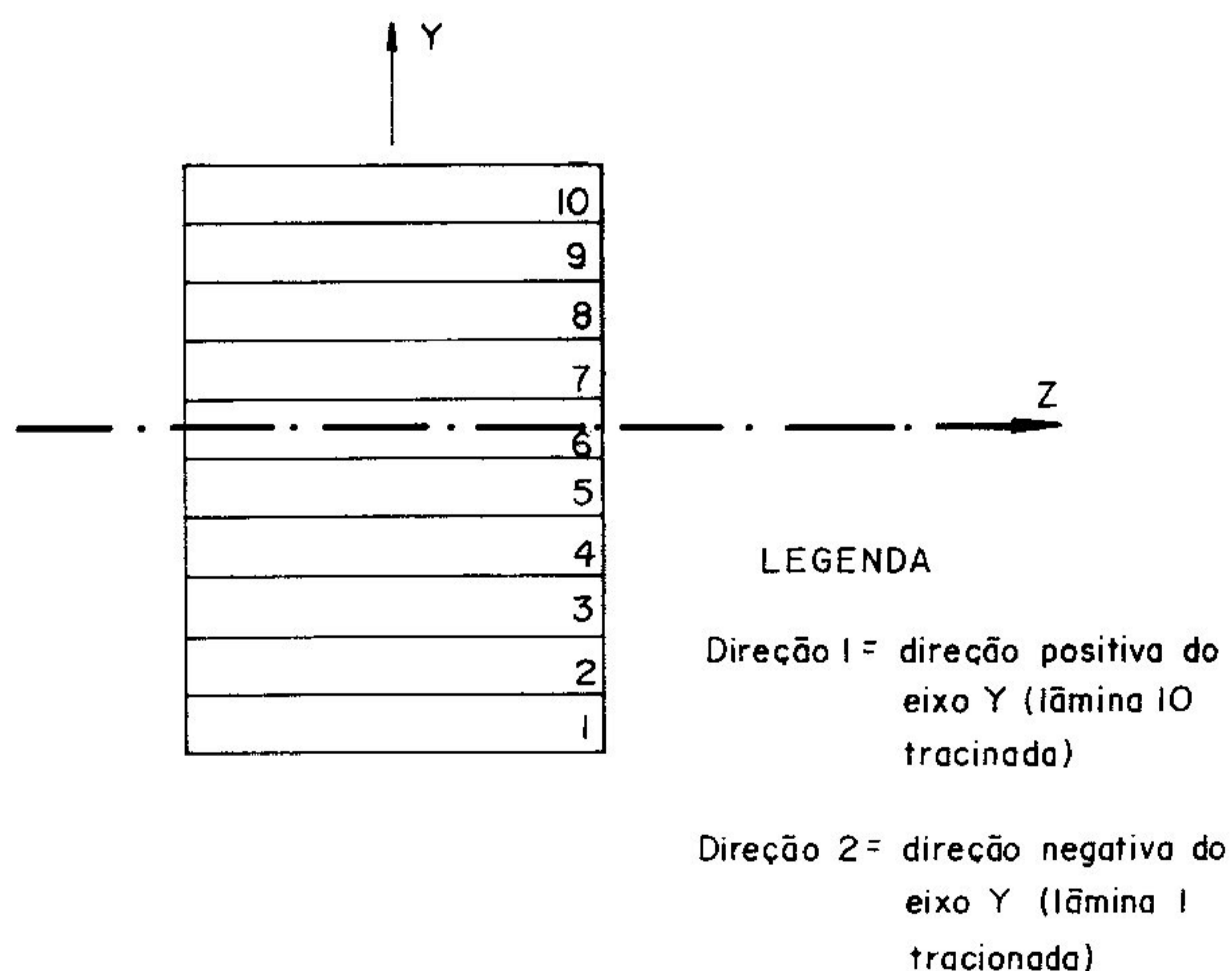


Figura 5.1 - Direções adotadas para os carregamentos

Tabela 5.1 - Momentos máximos

VIGA	MOMENTO (N m)	
	DIREÇÃO 1	DIREÇÃO 2
1	581,6335	599,8245
2	581,6335	599,8245
3	581,6335	599,8245
4	533,8127	567,2125
5	589,0347	625,8896
6	589,0347	625,8896
7	621,8424	645,0343
8	621,8424	645,0343
9	618,9191	623,6095
10	618,9191	623,6095
11	536,7139	519,9963
12	536,7139	519,9963
13	555,3309	534,1150
14	555,3309	534,1150
15	545,1382	655,4927
16	545,1382	655,4927
17	541,3607	681,4342
18	541,3607	681,4342
19	492,3782	621,9662
20	492,3782	621,9662

As cargas serão obtidas utilizando-se uma equação advinda da resistência dos materiais. Para tal, considere-se a figura 5.2.

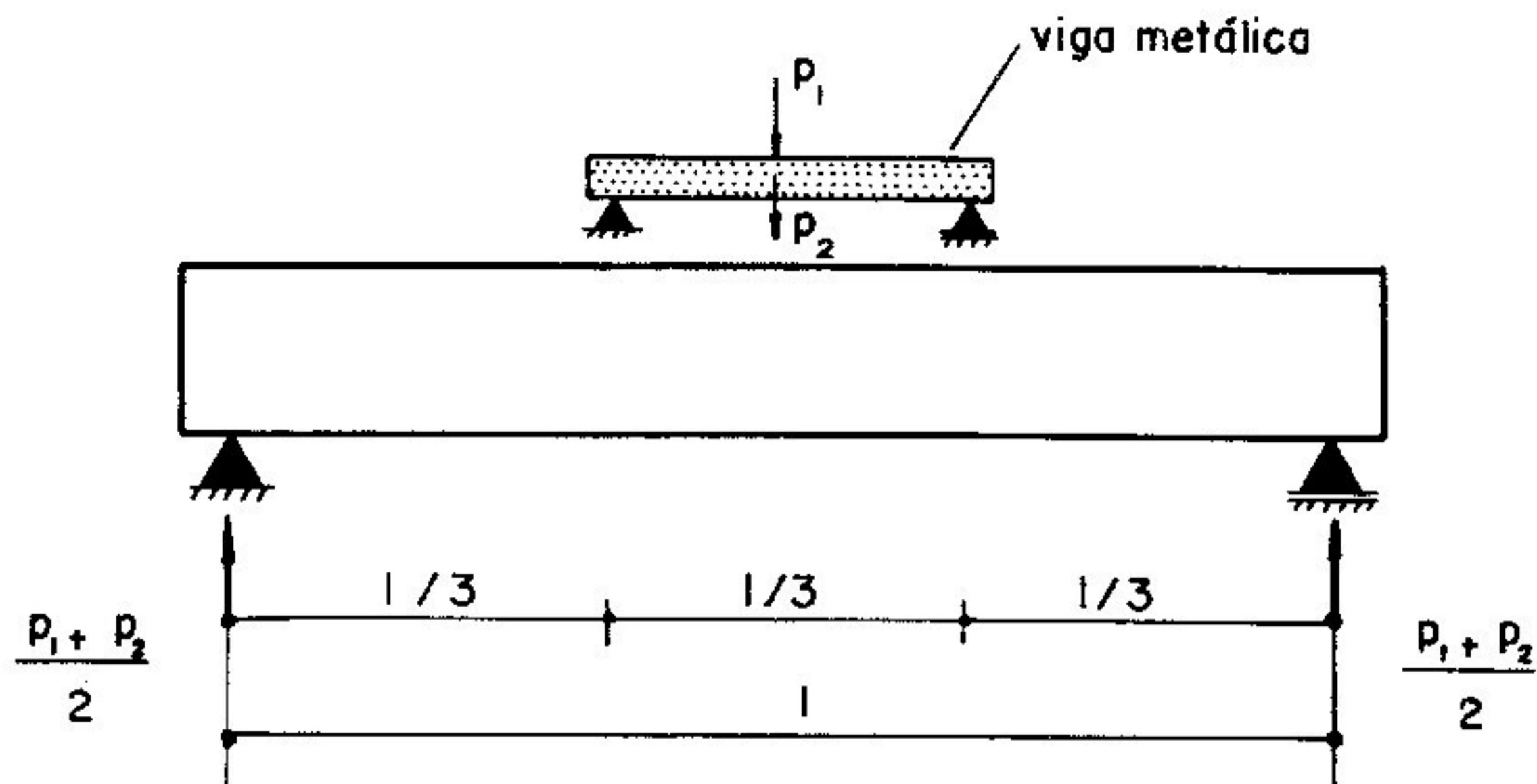


Figura 5.2 - Viga simplesmente apoiada

O momento fletor máximo será:

$$M = \frac{(P_1 + P_2) l}{6} \quad (5.2)$$

onde P_1 = carga aplicada pelo cilindro hidráulico, e
 P_2 = peso da viga metálica.

A equação, para a carga a ser aplicada pelo cilindro, será:

$$P_1 = \frac{M \cdot 6 - P_2 \cdot l}{l} \quad (5.3)$$

A carga máxima, que poderá ser aplicada pelo cilindro hidráulico em cada viga, de maneira que a tensão longitudinal de flexão não supere o limite de proporcionalidade em nenhum ponto da seção transversal, está apresentada na tabela 5.2. Para a obtenção destes valores, substituiu-se na equação (5.3), além dos valores de momento fletor apresentados na tabela 5.1, os valores 54,407 N para P_2 e 156 e 99 cm para l .

Tabela 5.2 - Carga Máxima a ser aplicada nas vigas

VIGA	CARGA (N)			
	l = 156 cm		l = 99 cm	
	DIREÇÃO 1	DIREÇÃO 2	DIREÇÃO 1	DIREÇÃO 2
1	2180	2250	3470	3580
2	2180	2250	3470	3580
3	2180	2250	3470	3580
4	2000	2130	3180	3380
5	2210	2350	3520	3740
6	2210	2350	3520	3740
7	2340	2430	3710	3850
8	2340	2430	3710	3850
9	2330	2340	3700	3730
10	2330	2340	3700	3730
11	2010	1950	3200	3100
12	2010	1950	3200	3100
13	2080	2000	3310	3180
14	2080	2000	3310	3180
15	2040	2470	3250	3920
16	2040	2470	3250	3920
17	2030	2570	3230	4080
18	2030	2570	3230	4080
19	1840	2340	2930	3720
20	1840	2340	2930	3720

5.2 - Previsão de carga para a emenda denteada

Os valores das características geométricas dos dentes da emenda denteada devem adequar-se às dimensões das vigas de ensaio já fabricadas.

O processo escolhido para efetuar esse dimensionamento será arbitrar valores para as características geométricas dos dentes, utilizando-se uma modificação da equação (4.18). Isso nos provera, como resultado, o valor da carga máxima que as emendas denteadas poderão suportar. Esses valores arbitrados deverão respeitar os critérios estabelecidos para dimensionamento de ligação denteada, apresentados no capítulo 2.

O valor da resistência ao cisalhamento para uma superfície colada submetida à torção, o qual será utilizado nesse dimensionamento, é o valor da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. De acordo com MANTILLA, CARRASCO (1989), tais valores são muito próximos e podem ser considerados como iguais.

5.2.1 - Dimensionamento

Considere-se a equação (4.18), onde cada um dos termos componentes desta já foi devidamente explicado.

Substituindo-se em (4.18) a equação (5.2), obtém-se a equação que nos proporciona a carga máxima que a emenda denteada poderá suportar, ou a carga aplicada pelo cilindro hidráulico que provocará a ruptura da película adesiva submetida à torção. Esta é:

$$P_1 = \frac{6 n \tau_{\text{máx}} (L - s)^2 B}{l \cos^5 \theta h} - P_2 , \quad (5.4)$$

onde L = comprimento total do dente da emenda denteada;

l = comprimento do vão da viga de ensaio;

- s = folga no fundo da emenda;
h = altura total da viga de ensaio;
 θ = ângulo de inclinação do dente da emenda denteada;
 $\tau_{\text{máx}}$ = tensão máxima de cisalhamento para uma superfície colada submetida à torção;
P2 = peso da viga metálica;
n = número total de películas adesivas, localizadas nas laterais dos dentes da emenda denteada e submetidas à torção;
B = $0,33 h^2 \cos^2 \theta - 0,22 (L - s) h \cos \theta + 0,10 (L - s)^2$.

Ao se adotarem os valores das características geométricas dos dentes das emendas denteadas, foram levados em consideração os critérios de dimensionamento propostos no capítulo 2, juntamente com as restrições construtivas e dimensões das vigas de ensaio já fabricadas.

Para o valor da espessura da extremidade do dente, que de acordo com o WOOD HANDBOOK 72 (1987) nunca deveria ser superior a 0,031 in (0,787 mm), foi adotado 2 mm. Isso deveu-se ao fato de este ser o menor valor que a lâmina da serra de fita, utilizada para a fabricação desses entalhes, poderia abrir.

O valor adotado para o ângulo de inclinação dos dentes das emendas foi 1/10. Este valor está de acordo com CAHIERS DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS (1973). Segundo este, o ângulo deve ficar entre 1/8 e 1/12.

O grau de enfraquecimento (t/p) encontrado foi 0,22, apesar de a DIN 68-140 (1971) afirmar que esse valor é para peças submetidas a cargas fracas.

Portanto, os valores adotados para as características geométricas foram:

- t = 2 mm;
p = 9 mm;
L = 25 mm;

$$s = 2 \text{ mm};$$

$$\theta = \text{arc tg}(1/10) = 5,71^\circ;$$

$$n = 10.$$

A figura 5.3 mostra uma representação da emenda denteada para os valores adotados.

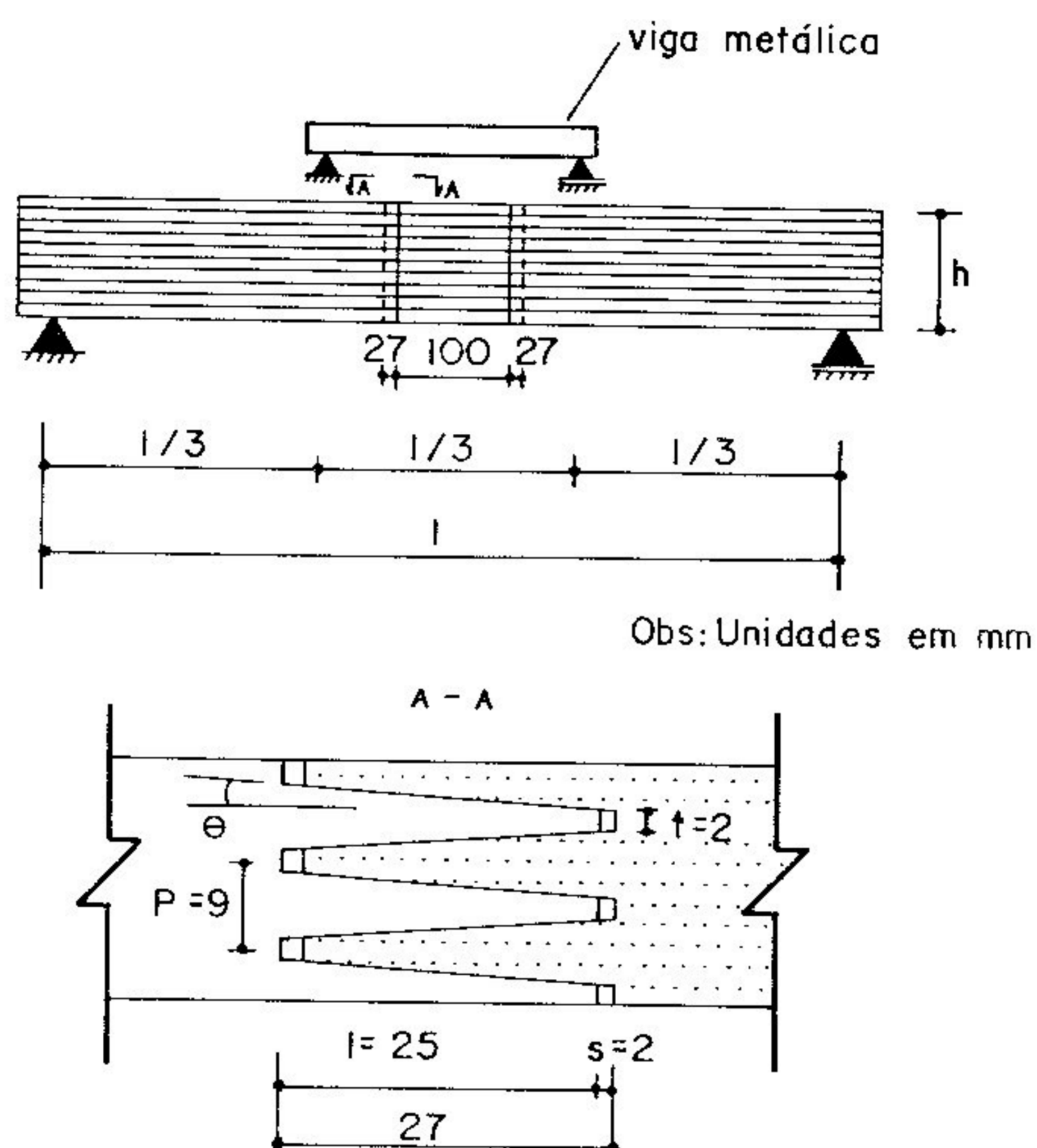


Figura 5.3 - Características geométricas das emendas denteadas

Os valores de $\tau_{\text{máx}}$, h , l e P_2 considerados foram: 9,78 MPa, 7 cm, 156 e 99 cm e 54,407 N. Substituindo-se na equação (5.4) esses valores, além dos valores adotados para as características geométricas, obteve-se:

$$P = 3740 \text{ N, para } l = 156 \text{ cm, e}$$

$$P = 5920 \text{ N, para } l = 99 \text{ cm.}$$

Esse mesmo nível de carga poderá ser aplicado às vigas de altura 7,1 e 7,2 cm, sem que isso represente um perigo de ruptura das emendas denteadas destas vigas.

6 - METODOLOGIA EXPERIMENTAL

6.1 - *Introdução*

Este capítulo visa a apresentar todas as considerações feitas para a realização dos ensaios de flexão bem como os procedimentos utilizados.

Para esses ensaios consideraram-se dois valores para a relação vão/altura (l/d): 14 e 21. Para as relações serem respeitadas em qualquer uma das vigas de ensaio, consideraram-se os seguintes vãos livres:

- l = 99 cm, para $l/d = 14$, e
- l = 156 cm, para $l/d = 21$.

Visto que a menor das vigas de ensaio apresentava o comprimento igual a 162,7 cm, era de esperar que aparecessem pequenos balanços quando os apoios fossem dispostos de maneira que se obtivessem os vãos livres especificados acima. Mas, devido ao pequeno peso por metro que tais vigas apresentavam, a influência dos balanços foi desconsiderada.

Para evitar a perda da estabilidade lateral, os dois apoios utilizados apresentavam vínculos de garfo.

Para que a carga do anel fosse aplicada em dois pontos nas vigas de ensaio, ela foi aplicada diretamente em uma viga metálica biapoiada, colocada em cima da viga ensaiada.

6.2 - *Modelos sem emendas denteadas*

De acordo com o que foi apresentado no item 3.4.2, as

lâminas das vigas de ensaio foram numeradas de 1 a 10, sendo as de número 1 e 10 assinaladas, para facilitar sua futura identificação. O carregamento foi aplicado, em todas as vigas de ensaio, nas faces das lâminas 1 e 10. Portanto, cada viga foi submetida a 4 ensaios, a saber: 2 ensaios ($l/d = 14$ e 21) para carga aplicada na lâmina 1, de acordo com a direção de carregamento 1 (ver figura 5.1), e 2 ensaios ($l/d = 14$ e 21) para carga aplicada na lâmina 10, de acordo com a direção de carregamento 2 (ver figura 5.1).

A idéia inicial, para a realização dos ensaios, era acompanhar as flechas obtidas à medida que o carregamento fosse sendo aplicado. Para cada flecha obtida, seria feita a diferença entre o valor dessa e o valor obtido para a flecha imediatamente anterior. O resultado das diferenças deveria ser constante ao longo do ensaio. Se de repente algum dos resultados fosse diferente dos valores constantes obtidos anteriormente, isso significaria que o carregamento teria superado a tensão correspondente ao limite de proporcionalidade. Neste ponto o ensaio deveria ser interrompido. Com relação à carga máxima prevista para cada modelo de ensaio, ela poderia ser superada, desde que o resultado da diferença entre flechas, tomado à medida que estas fossem obtidas, continuasse constante.

Durante a realização dos ensaios, verificou-se que algumas das vigas não chegavam a superar a tensão correspondente ao limite de proporcionalidade e, no entanto, rompiam-se. As vigas rompidas foram as de número 4, 13, 15 e 19. O rompimento por elas apresentado foi característico de material frágil. Isso deveu-se ao fato da grande concentração de nós presentes nessas vigas. Após o rompimento de alguns modelos de ensaio, comprovou-se que não era suficiente apenas acompanhar o resultado da diferença entre flechas obtidas.

Passou-se então a se prestar atenção aos ruídos que as vigas faziam ao serem ensaiadas. Se elas começavam a estalar, significava que o rompimento poderia estar iminente. Neste ponto o carregamento era retirado.

Portanto, o nível de carga atingido nos ensaios não foi

aquele calculado pela previsão de carga máxima. Este dependeu do ponto até o qual o carregamento pôde ser levado.

O ensaio foi repetido por duas vezes para cada uma das faces das vigas, com um intervalo de 10 minutos entre cada repetição. O motivo para não ser feito apenas um ensaio em cada uma das faces é que poderia haver alguma acomodação dos apoios. Apenas os resultados obtidos nos ensaios referentes à última repetição foram utilizados nos cálculos posteriores.

As fotografias da figura 6.1 e 6.2 mostram instantes dos ensaios para $l/d = 14$ e 21.

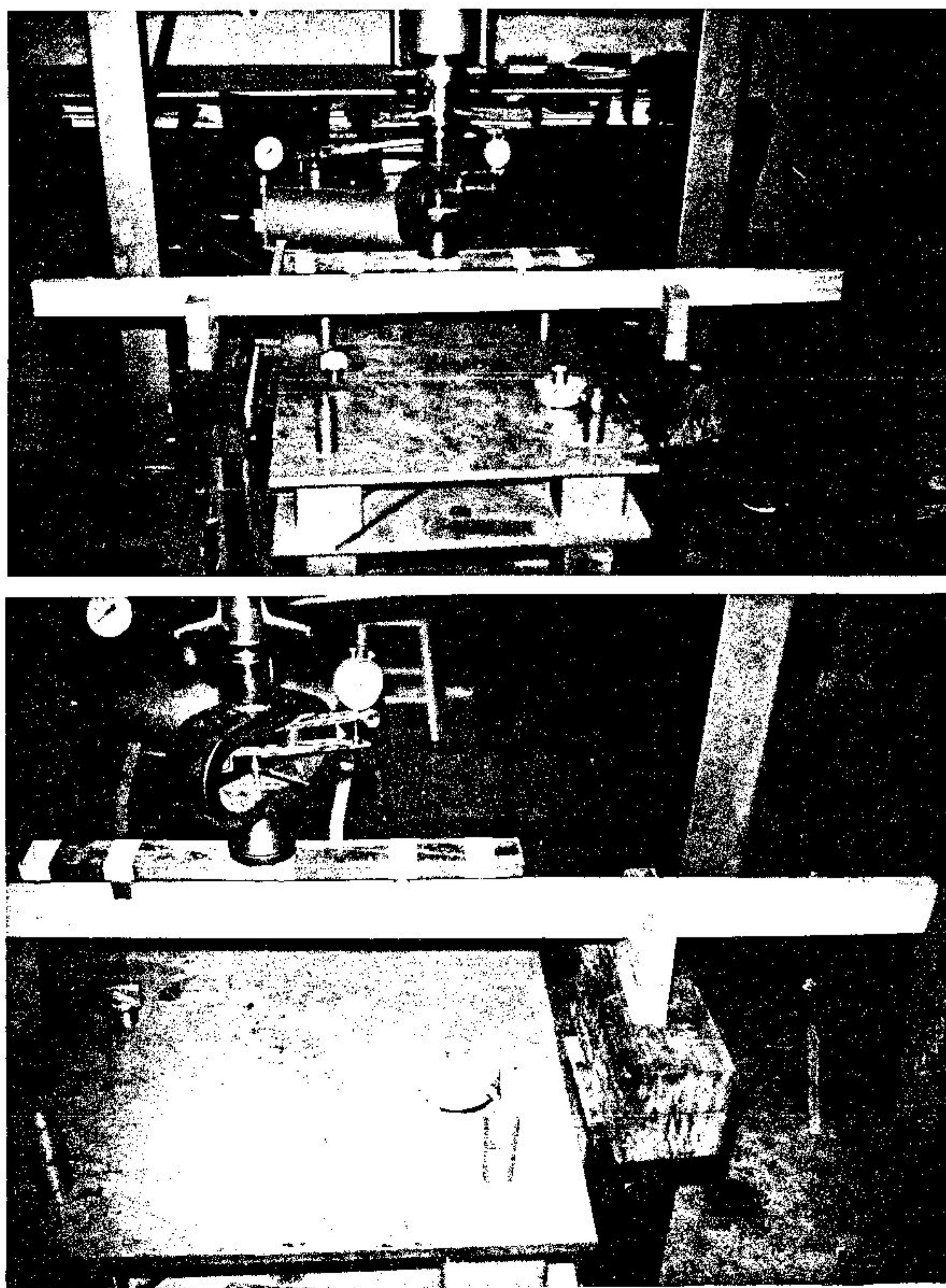


Figura 6.1 - Ensaio de flexão para $l/d = 14$

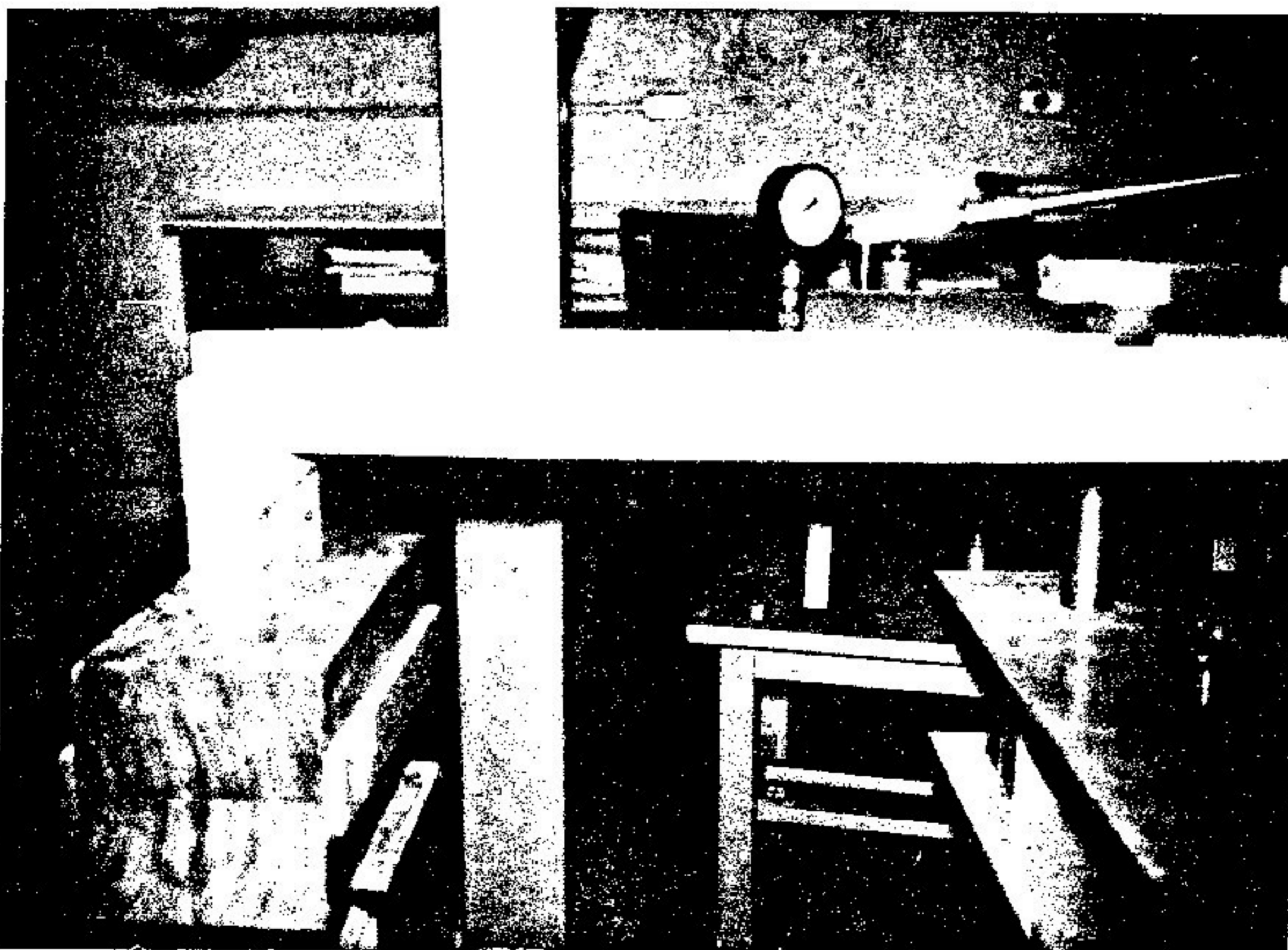
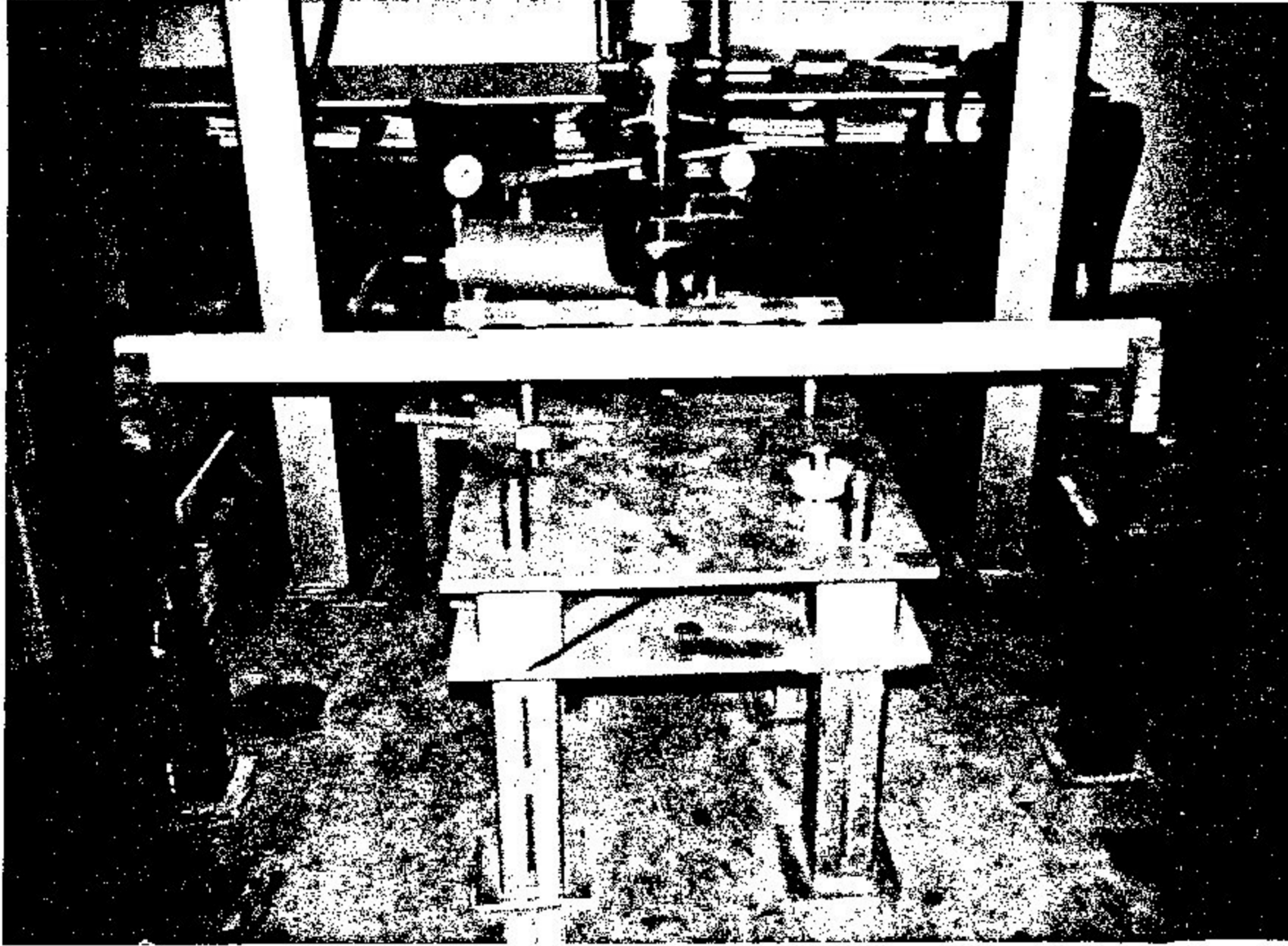


Figura 6.2 - Ensaio de flexão para $l/d = 21$

6.3 - Modelos com emendas denteadas

Após serem realizados os ensaios com todas as vigas, iniciou-se a produção das emendas denteadas.

Para tal, na porção central das vigas foram desenhados um par de macho e fêmea relativos às emendas denteadas. Após isso, elas foram levadas a uma serra de fita onde foi processado o corte. O adesivo utilizado para colar as emendas foi o CASCOPHEN. A colagem foi feita imediatamente após o seu corte. Foi observado um período de cura de 2 semanas para o adesivo, antes que o ensaio com esses modelos pudesse ser iniciado.

A fotografia da figura 6.3 mostra um instante do processo de colagem.

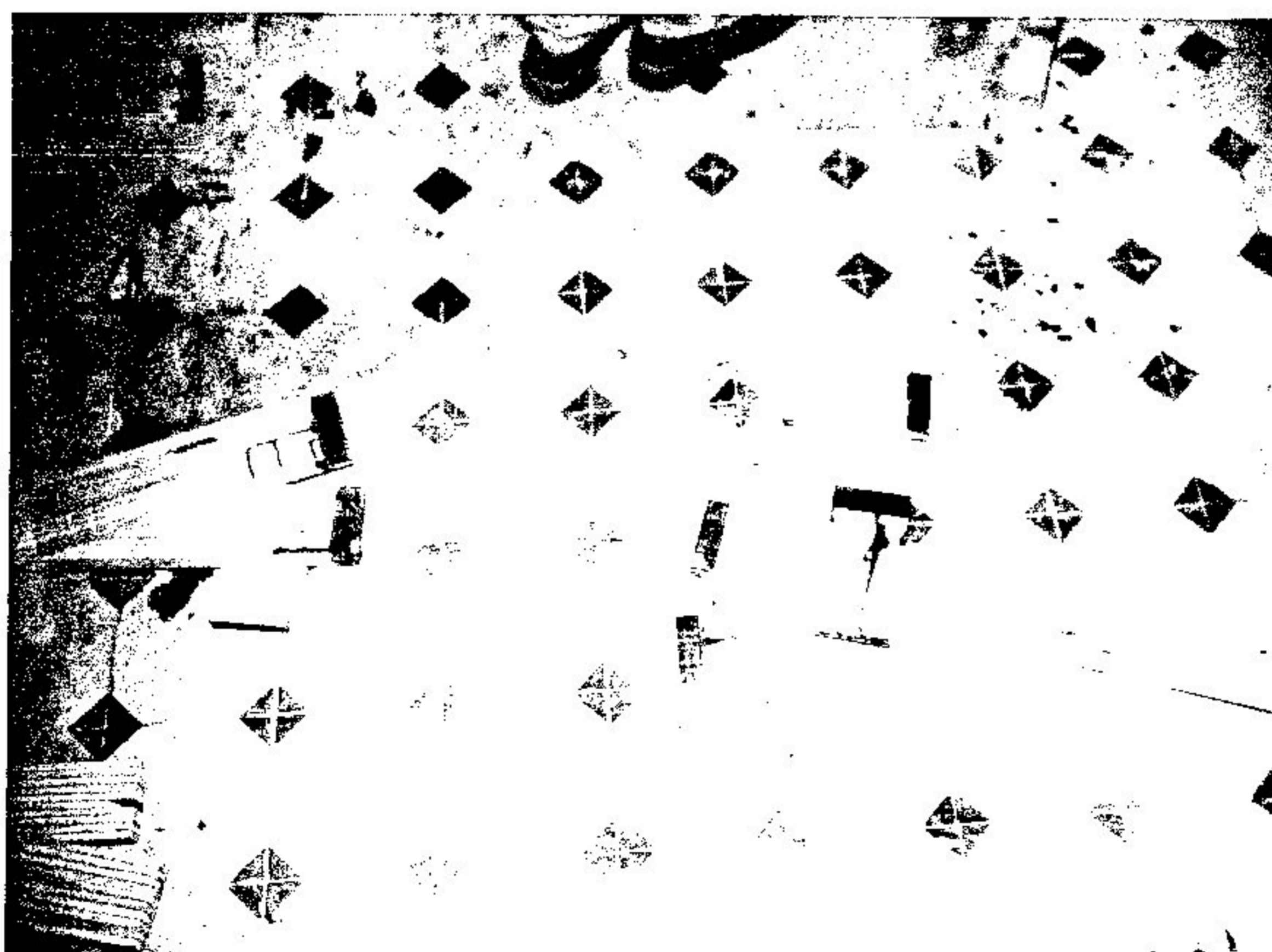


Figura 6.3 - Processo de colagem das emendas denteadas

As fotografias das figuras 6.4 e 6.5 mostram detalhes de emendas denteadas já coladas.



Figura 6.4 - Detalhe das emendas denteadas

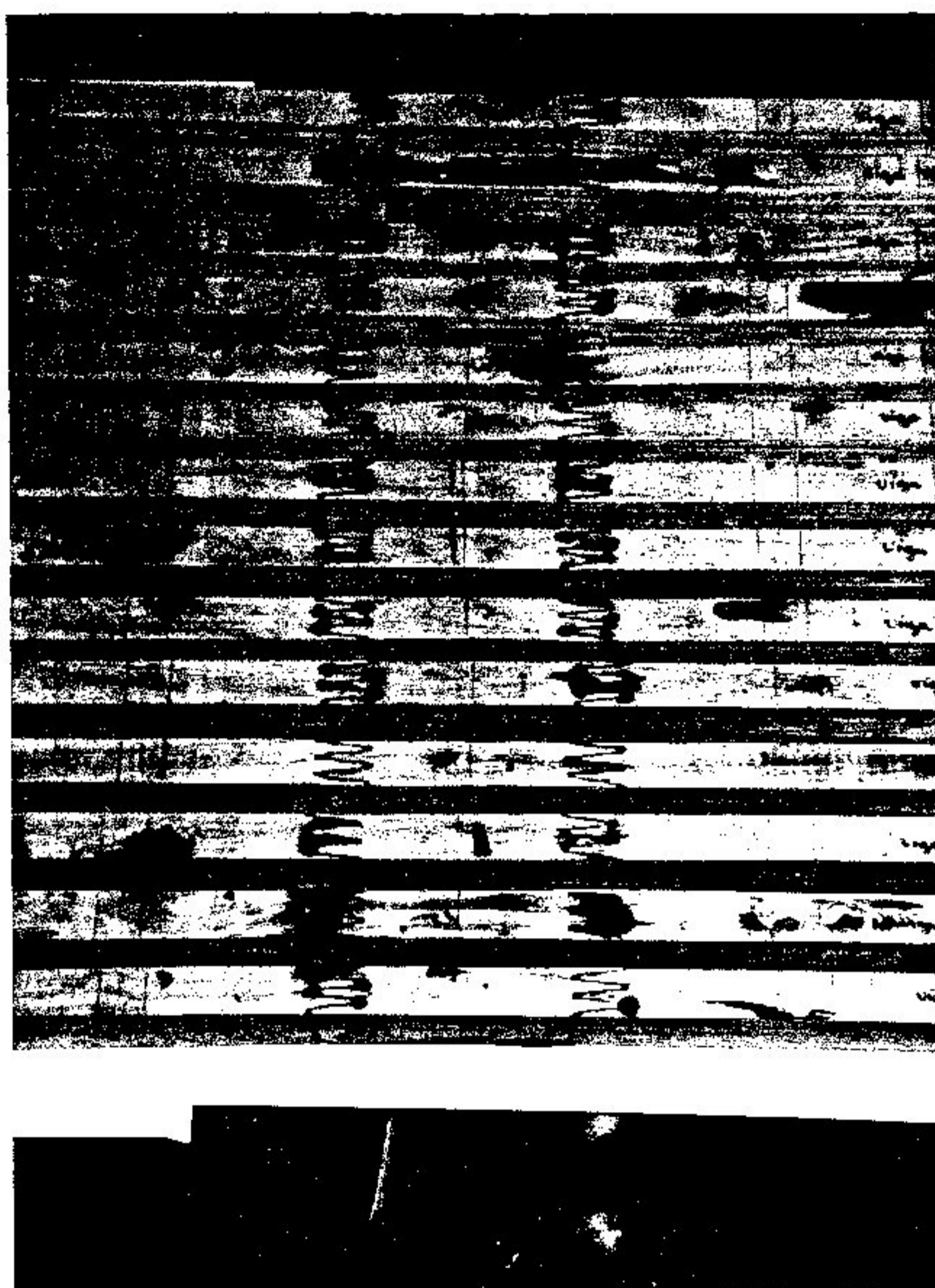


Figura 6.5 - Detalhe todas as vigas já com as emendas denteadas

Para a realização dos ensaios, foi seguido o mesmo procedimento adotado anteriormente. Verificou-se, no entanto, que algumas das emendas denteadas começavam a estalar antes que o nível de carga obtido no ensaio anterior fosse atingido. Para que não se perdessem essas vigas, o nível de carga atingido nestes ensaios foi inferior ao atingido nos anteriores.

As vigas de número 5 e 11 romperam-se na emenda denteada, à um nível de carga bastante baixo. Isto ocorreu provavelmente, devido à alguma irregularidade cometida durante o processo de fabricação da emenda (no corte ou na colagem).

7 - RESULTADOS

7.1 - *Valor da razão entre resistência à flexão, de uma viga em análise pela de uma viga isenta de defeitos, e entre módulo de elasticidade, de uma viga em análise pelo de uma viga isenta de defeitos.*

A espécie de madeira estudada foi a *PINUS ELLIOTTII*. O lote de tábuas utilizado foi classificado seguindo-se os procedimentos apresentados no capítulo 4. Foi definido que a qualidade de madeira, com a qual se iria trabalhar, seria a D (tamanho máximo permitido ao nó igual à metade da largura da tábua). Devido ao excessivo número de nós presentes em algumas tábuas, para que estas pudessem ser utilizadas, certas porções de seu comprimento (as que apresentavam uma concentração maior de nós) tiveram que ser suprimidas.

Nos subitens que se seguem, serão apresentadas todas as tabelas obtidas na análise da influência dos nós e o cálculo do fator I_k/I_g . No último subitem será apresentado o valor da razão entre a resistência à flexão da viga em análise pela resistência à flexão de uma viga isenta de defeitos e entre o módulo de elasticidade da viga em análise pelo módulo de elasticidade de uma viga isenta de defeitos.

7.1.1 - *Classificação das tábuas*

O lote de madeira estudado era composto de 98 tábuas. Ele foi dividido em 4 conjuntos. Isso foi devido ao fato de existirem tábuas de diferentes espessuras e larguras. Os conjuntos estão definidos a seguir:

- conjunto 1 - espessura 1 cm, largura 20 cm (tábuas de número 1 a 25);
- conjunto 2 - espessura 1 cm, largura 25 cm (tábuas de número 26

- a 51);
- *conjunto 3* - espessura 1,5 cm, largura 15 cm (tábuas de número 52 a 79);
 - *conjunto 4* - espessura 2,5 cm, largura 20 cm (tábuas de número 80 a 98).

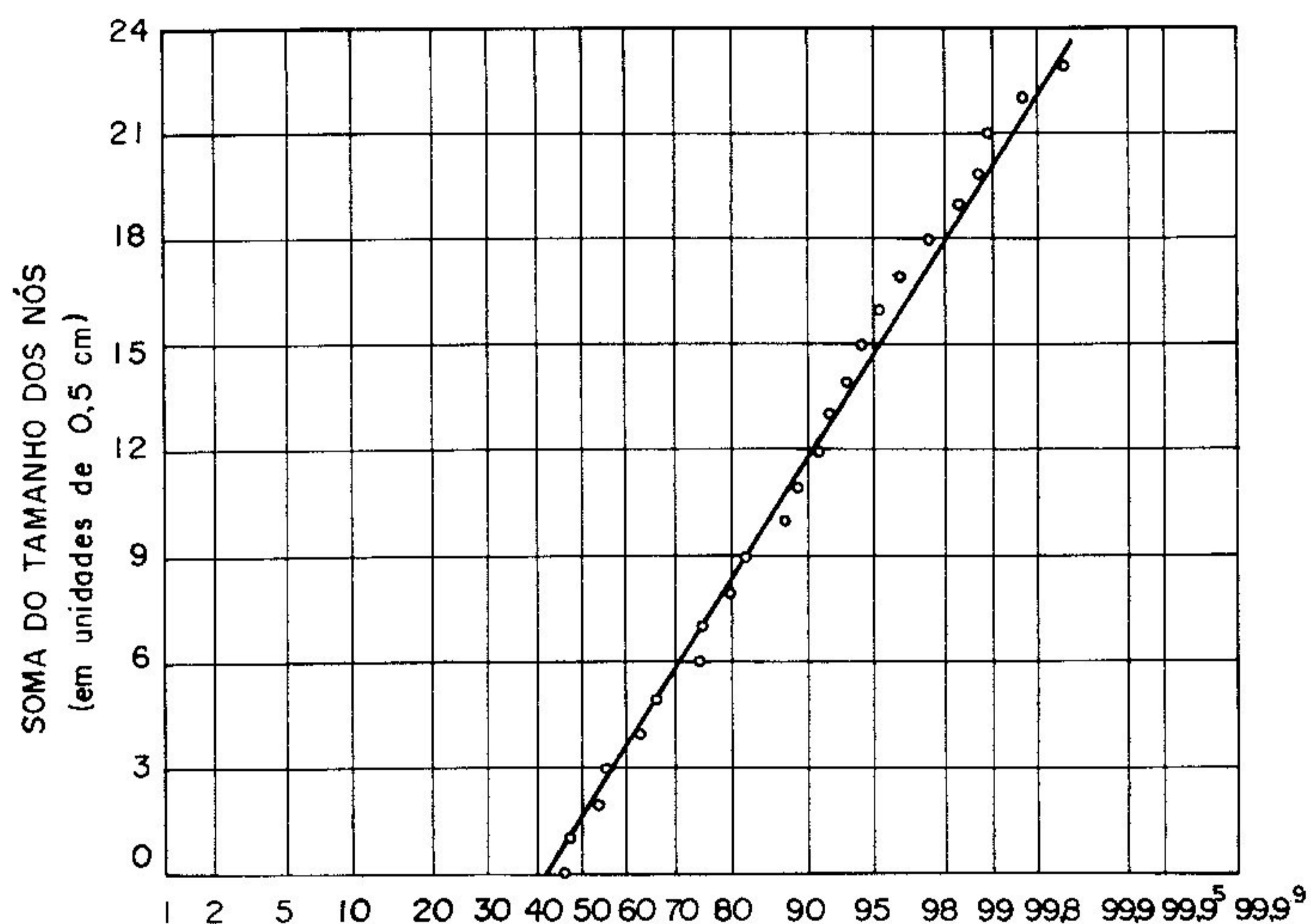
7.1.2 - Tabelas

Serão apresentados, apenas para o conjunto 4, os nós presentes nas tábuas e a soma do tamanho dos nós em intervalos de 30 cm. Será também apresentada, para os quatro conjuntos estudados, a distribuição dessas somas do tamanho dos nós, dentro de intervalos de 30 cm. Para tal serão utilizadas as tabelas propostas no capítulo 4 (figuras 4.3, 4.5 e 4.6). Tais tabelas serão apresentadas no anexo, com a seguinte nomenclatura: quadro 5, 6 e 7, respectivamente.

7.1.3 - Fator I_k/I_g

De acordo com o quadro 7, o valor médio para a soma do tamanho dos nós (\bar{x}_v) será obtido dividindo-se o total da coluna 9 pelo total da coluna 6. O resultado encontrado para essa divisão foi 4,156 (unidades de 0,5 cm).

A frequência de distribuição normal, para o limite de exclusão de 0,5%, será obtida (utilizando-se papel de probabilidade aritmética) plotando-se um gráfico da coluna 1 pela coluna 8 (quadro 7). Tal gráfico está apresentado a seguir na figura 7.1.



PROPORÇÃO DE COMPRIMENTOS DE 30 cm POSSUINDO A
SOMA DO TAMANHO DOS NÓS IGUAL OU INFERIOR AO
VALOR INDICADO NA ESCALA VERTICAL (%)

Figura 7.1 - Frequência acumulativa de ocorrência de somas de tamanho de nós em intervalos de 30 cm

O valor obtido para a soma do tamanho dos nós no limite de exclusão de 0,5%, a partir da figura 7.1, foi 21,75 (em unidades de 0,5 cm).

A largura média das tábuas utilizadas foi 20,37 cm. O valor de $\sqrt{\Sigma F^2} / \Sigma F$ obtido pela tabela 4.1, para vigas com 10 lâminas na seção transversal, foi 0,420. O valor de h_v calculado foi 17,594 (unidades de 0,5 cm). Obs.: transformando-se h_v e \bar{x}_v para cm obtém-se, respectivamente, 8,797 e 2,078 cm.

O fator I_k/I_g obtido, utilizando-se a equação (4.14), foi 0,223. Este fator poderá ser adotado para todo o lote de madeira estudado.

7.1.4 - *Determinação do valor da razão entre resistência à flexão, de uma viga em análise pela de uma viga isenta de defeitos, e entre módulo de elasticidade, de uma viga em análise pelo de uma viga isenta de defeitos.*

De posse do valor de I_k/I_g , os valores obtidos foram:

- 0,696, para resistência à flexão, e
- 0,950, para módulo de elasticidade.

7.2 - *Módulos de elasticidade longitudinal obtidos para as vigas de ensaio*

Como já foi dito, os ensaios foram feitos considerando-se dois valores para a relação l/d : 14 e 21. A idéia inicial era que o módulo de elasticidade longitudinal seria obtido a partir dos resultados dos ensaios para $l/d = 21$, por uma equação que desconsiderasse a contribuição da cortante na flexão. Já com os resultados dos ensaios para $l/d = 14$, e com os valores do módulo de elasticidade longitudinal obtidos para $l/d = 21$, seriam obtidos os valores do módulo de elasticidade transversal.

Após o cálculo de alguns valores do módulo de elasticidade transversal, comprovou-se que a maneira para a sua obtenção não estava correta, pois alguns resultados obtidos foram absurdos.

Portanto, chegou-se à conclusão de que o valor exato do módulo de elasticidade transversal não poderia ser calculado. Seria então apenas calculado o valor do módulo de elasticidade longitudinal, utilizando-se uma equação que desconsiderasse a contribuição da cortante na flexão. Depois, utilizando-se um procedimento estatístico, seria verificado se houve a contribuição significativa da cortante na flexão.

A equação utilizada para o cálculo do módulo de elasticidade longitudinal está apresentada a seguir:

$$E = \frac{23 l^3 P}{1296 \bar{I} \delta}, \quad (7.1)$$

onde l = comprimento do vão ensaiado;

\bar{I} = inércia da seção transversal homogeneizada;

P/δ = tangente do ângulo formado entre a reta e a vertical, para um gráfico de flecha (δ) x carga (P).

A equação utilizada para o cálculo da inércia da seção transversal homogeneizada está apresentada a seguir (para uma melhor compreensão da equação, ver figura 4.1):

$$\bar{I} = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{b_1 \left(\frac{E_i}{E_1}\right) h_i^3}{12} + b_1 \left(\frac{E_i}{E_1}\right) h_i \left[t - \left(\sum_{j=1}^{i-1} h_j + \frac{h_i}{2} \right) \right]^2 \right\} \quad (7.2)$$

onde t = altura da linha neutra (equação 4.9);

h_i = espessura da lâmina i ;

b_1 = espessura da lâmina da borda inferior;

E_i = módulo de elasticidade da lâmina i ;

E_1 = módulo de elasticidade da lâmina da borda inferior.

7.2.1 - Valores obtidos para os módulos de elasticidade longitudinal

Os gráficos de flecha (δ) x carga (P), juntamente com os valores obtidos para o módulo de elasticidade, através de uma regressão linear, estão apresentados no anexo.

As tabelas 7.1 e 7.2 apresentam os valores do módulo de elasticidade longitudinal obtidos para vigas sem e com emendas

denteadas.

Tabela 7.1 - Módulo de Elasticidade longitudinal para vigas sem emendas denteadas (unidade: MPa)

Viga	l/d = 21		l/d = 14	
	Direção 1	Direção 2	Direção 1	Direção 2
1	11922,34	11113,56	12185,84	11425,84
2	9247,41	8412,05	8787,38	7847,86
3	10078,93	9243,38	9805,79	9062,64
5	6756,34	5917,27	6361,67	5464,38
6	7058,50	5997,19	6580,74	5574,17
7	6158,67	6052,10	6168,66	5765,02
8	6651,30	6232,86	6247,73	5773,00
9	6206,31	5906,76	5782,03	5666,37
10	6705,80	5950,69	6027,93	6065,84
11	9872,33	9394,88	9481,29	9402,05
12	9204,30	9105,76	8772,94	8981,03
14	7637,69	7685,13	7433,35	7328,46
16		6177,68	6915,28	5507,56
17	9937,02	6965,61	9367,22	6496,15
18	10219,84	6954,97	9096,35	6317,59
20		6181,83		5728,03

Tabela 7.2 - Módulo de Elasticidade longitudinal para vigas com emendas denteadas (unidade: MPa)

Viga	l/d = 21		l/d = 14	
	Direção 1	Direção 2	Direção 1	Direção 2
1	10714,80	9826,43	10220,44	9464,14
2	8346,66	7674,66	7731,75	7145,36
3	9012,26	8125,87	8466,07	7582,43
6	6395,31	5486,84	6010,53	4964,78
7	5878,23	5296,00	5802,04	5342,50
8	5708,91	5339,17	5821,78	5259,15
9	5649,32	5343,82	5428,37	5074,44
10	5955,56	5504,53	5674,11	5297,43
12	8546,20	7875,26	8000,61	7754,44
14	7468,46	7190,82	6916,27	6561,99
16		5373,60	6335,70	5217,69
17	8882,23	6243,27	8383,12	6066,06
18	8522,42	6155,85	8238,02	6003,85
20		5596,44		5354,24

A tabela 7.3 apresenta os valores de teóricos de rigidez, obtidos para as vigas de ensaio a partir da equação (4.12), utilizando-se os valores de módulo de elasticidade longitudinal, obtidos nos ensaios de classificação das lâminas.

Tabela 7.3 - Valores de Rigidez obtidos a partir da equação (4.12), utilizando-se os valores de módulo de elasticidade longitudinal, que foram obtidos nos ensaios de classificação das lâminas. (unidade: $N m^2$)

Viga	Direção 1	Direção 2
1	6351,088	6351,088
2	6377,606	6377,606
3	6324,570	6324,570
4	4204,786	4204,786
5	4697,761	4697,761
6	4639,764	4639,764
7	4915,936	4915,985
8	4905,759	4905,807
9	4338,615	4338,615
10	4393,650	4393,650
11	4571,703	4571,703
12	4648,862	4648,862
13	4712,532	4712,532
14	4712,532	4712,532
15	4580,617	4580,617
16	4571,133	4571,133
17	5727,861	5727,861
18	5727,861	5727,861
19	4036,102	4036,102
20	4036,102	4036,102

As tabelas 7.4 e 7.5 apresentam os valores de rigidez obtidos a partir dos resultados dos ensaios, para vigas sem e com emendas denteadas.

Tabela 7.4 - Valores de rigidez para vigas sem emendas denteadas
(unidade: $N m^2$)

Viga	l/d = 21		l/d = 14	
	Direção 1	Direção 2	Direção 1	Direção 2
1	7395,785	7333,394	7559,242	7539,455
2	5760,397	5573,908	5473,835	5200,071
3	6226,158	6073,825	6057,429	5955,061
5	4124,610	4252,150	3883,672	3926,703
6	4255,923	4256,326	3967,857	3956,100
7	4077,717	4283,616	4084,331	4080,424
8	4394,780	4402,394	4128,125	4077,585
9	4093,682	4021,795	3813,827	3858,118
10	4479,273	4103,120	4026,476	4182,518
11	5563,058	5411,263	5342,707	5415,393
12	5274,156	5333,244	5026,982	5260,189
14	4436,352	4562,815	4317,661	4351,053
16		4458,926	3982,579	3975,247
17	5461,187	5422,379	5148,037	5056,928
18	5616,620	5414,096	4999,172	4917,928
20		4411,292		4087,465

Tabela 7.5 - Valores de rigidez para vigas com emendas denteadas
(unidade: $N m^2$)

Viga	l/d = 21		l/d = 14	
	Direção 1	Direção 2	Direção 1	Direção 2
1	6646,712	6484,068	6340,046	6245,007
2	5199,301	5085,306	4816,262	4734,587
3	5567,233	5339,509	5229,830	4982,415
6	3856,052	3894,120	3624,049	3523,604
7	3892,035	3748,456	3841,589	3781,368
8	3772,105	3771,163	3846,683	3714,643
9	3726,291	3638,500	3580,553	3455,085
10	3978,135	3795,484	3790,135	3652,684
12	4897,058	4612,540	4584,430	4541,776
14	4338,055	4269,334	4017,315	3895,985
16		3878,557	3648,793	3766,024
17	4881,496	4860,074	4607,195	4722,124
18	4683,752	4792,021	4527,451	4673,697
20		3993,563		3820,732

7.3 - Ruptura das vigas com emendas denteadas

Após serem obtidos todos os valores de módulo de elasticidade, em ensaios onde se trabalhou sempre no regime elástico, as vigas com emendas denteadas foram levadas à ruptura. O objetivo desse procedimento, além da obtenção dos valores de carga de ruptura, foi a observação da maneira como a ruptura ocorria.

Para tais ensaios considerou-se o vão de 99 cm. Todas as vigas foram ensaiadas de acordo com a direção 1 (ver figura 5.1).

Os valores de carga de ruptura, juntamente com as observações, estão apresentados na tabela 7.6.

Tabela 7.6 - Ruptura das vigas com emendas denteadas

Viga	Carga (N)	Tipo de ruptura
1	3940	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
2	2710	ruptura total de uma emenda denteada
3	3570	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
6	2360	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
7	3570	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
8	3940	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
9	2950	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
10	2950	ruptura em um nó localizado na primeira lâmina tracionada
12	2460	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
14	1720	ruptura em um nó localizado na primeira lâmina tracionada
16	2210	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
17	3080	ruptura em um nó localizado na primeira lâmina tracionada
18	3200	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada
20	2410	ruptura de uma emenda denteada na região tracionada

De acordo com o que está apresentado na tabela 7.6, pode-se observar que exceto por três vigas de ensaio que romperam-se em nós, localizados na lâmina tracionada mais externa e distantes da emenda, todas as outras vigas romperam-se na região da emenda denteada. Deve ser salientado também que esta ruptura ocorreu em apenas uma das emendas (cada viga possuía duas emendas denteadas horizontais).

Quanto ao tipo de ruptura apresentado pelas vigas rompidas nas emendas denteadas, a quase totalidade foi por tração, sendo que esta ruptura ocorreu em dentes localizados nas três ou quatro primeiras lâminas. Apenas uma das emendas denteadas rompeu-se totalmente por torção.

A carga de ruptura prevista para as emendas denteadas não foi atingida.

8 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

8.1 - Módulos de elasticidade longitudinal obtidos nos ensaios

Será feita uma análise estatística, a partir dos valores de módulo de elasticidade longitudinal obtidos nos ensaios. O nível de significância (α) considerado foi 5%.

A análise dos resultados e as conclusões serão apresentadas a seguir, nas tabelas de 8.1 a 8.4. A unidade utilizada para \bar{d} , $S_{(d)}$, \bar{q} , $S_{(q)}$ é o MPa.

Devido ao rompimento de algumas vigas de ensaio, a primeira verificação que será feita é se a amostra pode ser aumentada. Visto que cada viga foi ensaiada aplicando-se o carregamento de acordo com duas direções (direção 1 e 2; ver figura 5.1), será verificado se cada uma destas direções pode ser tratada como viga independente. Para tal será feita a verificação da hipótese nula para a diferença entre os valores obtidos nas direções 1 e 2.

Tabela 8.1 - Verificação da hipótese nula para a diferença entre os valores obtidos nas direções 1 e 2.

	vigas sem emendas denteadas		vigas com emendas denteadas	
	l/d=21	l/d=14	l/d=21	l/d=14
n	14	15	12	13
ν	13	14	11	12
\bar{d}	908,90	822,42	918,15	868,81
$S_{(d)}$	995,76	929,49	774,61	681,22
$S_{(d)}$	266,13	239,99	223,61	188,94
t	3,42	3,43	4,11	4,60
t_0	2,16	2,14	2,20	2,18
Resultado	$t > t_0$	$t > t_0$	$t > t_0$	$t > t_0$
Conclusão	A hipótese nula da diferença foi rejeitada. Portanto, as direções 1 e 2, para efeito de análise estatística, podem ser tratadas como vigas independentes.			

Será verificado agora se houve contribuição significativa da cortante na flexão. Para tal, será verificada a hipótese nula para a diferença entre os valores obtidos para l/d=21 e l/d=14.

Tabela 8.2 - Verificação da hipótese nula para a diferença entre os valores obtidos para $l/d=21$ e $l/d=14$.

	vigas sem emendas denteadas	vigas com emendas denteadas
n	30	26
ν	29	25
\bar{d}	348,12	320,44
$S_{(d)}$	293,38	212,53
$S_{(\bar{d})}$	53,56	41,68
t	6,50	7,69
t_0	2,04	2,06
Resultado	$t > t_0$	$t > t_0$
Conclusão	A hipótese nula da diferença foi rejeitada. Portanto, houve contribuição da cortante na flexão, para $l/d=14$.	

Finalmente, será verificado se houve diferença significativa entre os valores de módulo de elasticidade longitudinal, obtidos para vigas sem e com emenda denteada. Para tal, será verificada a hipótese nula para a diferença entre os valores de E (sem emenda denteada) e E (com emenda denteada).

Tabela 8.3 - Verificação da hipótese nula para a diferença entre os valores de E (sem emenda denteada) e E (com emenda denteada)

n	53
ν	52
\bar{d}	782,80
$S_{(\bar{d}_i)}$	407,26
$S_{(\bar{d})}$	55,94
t	13,99
t_0	2,00
Resultado	$t > t_0$
Conclusão	A hipótese nula da diferença foi rejeitada. Portanto, existe uma diferença significativa entre os valores de módulo de elasticidade obtidos para vigas sem emendas denteadas e com emendas denteadas.

Será agora calculado o intervalo de confiança para a média da população, para o quociente da divisão de E (sem emenda denteada) por E (com emenda denteada). Este último procedimento tem como objetivo a determinação de um coeficiente de minoração, para ser multiplicado pelo valor do módulo de elasticidade de vigas sem emendas denteadas.

Tabela 8.4 - Determinação do intervalo de confiança para a média da população, para o quociente de E (sem emenda denteada) por E (com emenda denteada)

n	53
ν	52
\bar{q}	1,1112
$S_{(\bar{q}_i)}$	0,0411
$S_{(\bar{q})}$	0,0056
t_0	2,00
Intervalo	$1,1000 \leq \mu_q \leq 1,1224$
Conclusão	E (com emenda denteada) = E (sem emenda denteada) multiplicado por um coeficiente que vai de 1/1,10 a 1/1,1224 (0,91 a 0,89)

8.2 - Ruptura das vigas com emendas denteadas

A ruptura das vigas de ensaio ocorreu a um nível de carga bastante inferior ao esperado. O que pode ter provocado a baixa resistência das emendas denteadas, foi alguma irregularidade ocorrida durante o seu processo de fabricação. Talvez a maneira como as emendas foram produzidas (cortadas em serra de fita) tornou as superfícies do encaixe bastante irregulares, aumentando a espessura da película adesiva e, conseqüentemente, diminuindo sua resistência.

No entanto, a equação proposta para a determinação da tensão atuante na emenda denteada desconsiderou a influência do momento fletor (F), ver figura 4.7, por esse possuir um valor muito pequeno. Talvez esse e outros fatores desconsiderados (tais como pressão de aperto dos dentes, tempo de penetração do adesivo, etc) causaram a baixa resistência da emenda denteada

Será apresentada, a seguir, uma análise estatística, para os valores de carga de ruptura, teóricos e experimentais, obtidos

para as vigas de ensaio. Para tal, será verificada a hipótese nula para a diferença entre esses valores.

Tal análise será apresentada na tabela 8.5. O nível de significância (α) considerado foi 5%. A unidade utilizada para \bar{d} , $S_{(di)}$ e $S_{(d)}$ é o MPa.

Obs.: os valores teóricos de carga de ruptura, a serem usados nesta análise, foram obtidos multiplicando-se os valores apresentados na tabela 5.2 por 1,5, uma vez que esses valores foram calculados para 2/3 do valor da tensão longitudinal de flexão.

Tabela 8.5 - Verificação da hipótese nula para a diferença entre os valores de carga de ruptura, teóricos e experimentais, obtidos para as vigas de ensaio

n	14
ν	13
\bar{d}	2198,57
$S_{(di)}$	579,31
$S_{(d)}$	154,83
t	14,20
t_0	2,16
Resultado	$t > t_0$
Conclusão	A hipótese nula da diferença foi rejeitada. Portanto, existe uma diferença significativa entre os valores de carga de ruptura teóricos e experimentais

Será agora calculado o intervalo de confiança para a média da população, para o quociente da carga de ruptura experimental pela carga de ruptura teórica. Este último procedimento tem como objetivo a determinação de um coeficiente de correção, para ser

multiplicado pelo valor da carga de ruptura teórica.

Tabela 8.6 - Determinação do intervalo de confiança para a média da população, para o quociente de carga de ruptura experimental pela carga de ruptura teórica

n	14
ν	13
\bar{q}	0,5700
$S_{(\bar{q}_i)}$	0,1153
$S_{(\bar{q})}$	0,0308
t_0	2,16
Intervalo	$0,5034 \leq \mu_q \leq 0,6366$
Conclusão	Valor corrigido da carga de ruptura = Valor teórico vezes um coeficiente que vai de 0,5034 a 0,6366

8.3 - Comparação entre os valores de rigidez, teóricos e experimentais, obtidos para as vigas de ensaio

Devido ao processo adotado para a caracterização das lâminas quanto à rigidez, será verificada a validade dos valores de módulo de elasticidade obtidos nesse processo. Para tal, será verificada a hipótese nula para a diferença entre os valores teóricos de rigidez (calculados considerando-se os valores de módulo de elasticidade longitudinal, que foram obtidos durante o processo de caracterização das lâminas) e valores experimentais (obtidos nos ensaios de flexão das vigas).

Tal análise será apresentada na tabela 8.7. O nível de significância (α) considerado foi 5%. A unidade utilizada para \bar{d} , $S_{(\bar{d}_i)}$ e $S_{(\bar{d})}$ é o Nm^2 .

Visto que as lâminas, durante o processo de

caracterização, tiveram seus valores de módulo de elasticidade longitudinal obtidos para $l/d > 21$, os valores de rigidez, à serem comparados com os teóricos, serão aqueles obtidos para as vigas sem emendas denteadas e com $l/d = 21$.

Tabela 8.7 - Verificação da hipótese nula para a diferença entre os valores de rigidez teóricos e experimentais

n	30
ν	29
\bar{d}	-93,341
$S_{(d_i)}$	546,439
$S_{(d)}$	99,766
t	-0,94
t_0	2,04
Resultado	$ t < t_0$
Conclusão	A hipótese nula da diferença é válida. Portanto, não existe uma diferença significativa entre os valores de rigidez teóricos e experimentais

8.4 - Comparação dos valores de flechas, obtidos para as vigas nos ensaios de flexão, com as flechas admissíveis

Como o valor correspondente ao limite de proporcionalidade não foi determinado, para nenhuma das vigas de ensaio, será feita uma verificação quanto ao estado limite de utilização. Para tal, será verificado se os valores de flecha obtidos superaram o valor da flecha admissível.

Para realizar tal análise, devemos, em primeiro lugar, calcular o valor da flecha admissível, para os dois comprimentos de vão adotados nos ensaios. Considerando-se a flecha admissível igual à $l/350$, os valores calculados foram:

$-\delta = 0,28$ cm, para $l = 99$ cm, e

$-\delta = 0,45$ cm, para $l = 156$ cm.

Observando-se os gráficos do anexo, tanto para vigas sem emendas denteadas como para vigas com emendas denteadas, pode-se concluir que todos os valores de flecha obtidos superaram os valores das flechas admissíveis. Mesmo no caso das vigas com emendas denteadas, apesar de serem menos rígidas que as vigas sem emendas denteadas, foram atingidos, nos ensaios, valores de flecha acima dos valores admissíveis. Isto proporciona uma segurança quanto à utilização em serviço de vigas compostas de partes unidas por emendas denteadas.

9 - CONCLUSÕES

As propostas iniciais deste trabalho foram:

- 1) verificar o comportamento, no regime elástico, de vigas de madeira laminada colada, compostas de partes unidas por emendas denteadas;
- 2) avaliar o efeito dos nós na resistência à flexão e no módulo de elasticidade das vigas, utilizando-se o método proposto por FREAS e SELBO (1954);
- 3) propor um método para dimensionamento de emendas denteadas submetidas à flexão.

De acordo com a análise estatística, comprovou-se que pode ser adotado um coeficiente de redução de 0,89 e 0,91 para o módulo de elasticidade, de uma peça composta de partes unidas por emendas denteadas. Deve ser novamente lembrado que estes resultados são válidos para o caso específico das vigas utilizadas nos ensaios. Ou seja, estes resultados valem para peças que forem solicitadas da mesma maneira que os ensaios realizados, e que tenham sido produzidas nas mesmas condições de laboratório que essas. O que pode ser futuramente pesquisado, é a validade desses resultados para vigas fabricadas utilizando-se outras espécies de madeira, ou mesmo para vigas de *PINUS ELLIOTTII*, só que agora fabricadas sobre outras condições de laboratório.

O método para a determinação do fator I_k/I_g , proposto por FREAS e SELBO (1954), revela-se bastante prático, visto que as tábuas de um lote, após a determinação desse fator, podem ser utilizadas na fabricação de peças de madeira laminada colada, sem que haja a preocupação com relação à disposição a ser adotada para as lâminas em seu interior. Deve ser ressaltado que, durante a fabricação dessas peças, as tábuas a serem utilizadas, após terem sido cortadas já nas dimensões finais das lâminas das vigas, devem continuar a pertencer à mesma qualidade do lote da qual provieram. O valor de

I_k/I_g obtido, para o lote de tábuas utilizado, foi 0,223. A partir desse valor, os valores obtidos para a razão entre a resistência à flexão da viga em análise pela resistência à flexão de uma viga isenta de defeitos e entre o módulo de elasticidade da viga em análise pelo módulo de elasticidade de uma viga isenta de defeitos, foram:

- 0,696, para resistência à flexão, e
- 0,950, para módulo de elasticidade.

A respeito da ruptura, todas as emendas denteadas romperam-se a um nível de carga inferior ao previsto. O que pode ter provocado os baixos valores de carga de ruptura foi, sem dúvida, a irregularidade da superfície das emendas denteadas. Visto que o corte das emendas denteadas foi feito em uma serra de fita, as superfícies do encaixe podem ter ficado bastante irregulares, tornando a película adesiva mais espessa e, conseqüentemente, diminuindo a resistência da emenda. A equação de cálculo proposta, deve ser multiplicada por um coeficiente de correção que varia de 0,5034 a 0,6366.

Devido ao processo adotado para a caracterização das lâminas quanto à rigidez, foi verificada a validade dos valores de módulo de elasticidade longitudinal obtidos. A análise estatística mostrou que os valores obtidos estavam corretos.

Como o valor correspondente ao limite de proporcionalidade não foi determinado, para nenhuma das vigas de ensaio, foi feita uma verificação quanto ao estado limite de utilização. Como resultado, comprovou-se que foram atingidos valores de flecha acima dos valores admissíveis, proporcionando uma segurança quanto a utilização em serviço de vigas compostas de partes unidas por emendas denteadas.

10 - BIBLIOGRAFIA

- APLIN, E. N.. Stiffness-graded eastern spruce laminated beams. **Forest Products Journal**, Madison, WI, january, 1972. v. 22, No. 1, p.26-31
- BEER, F. P. & JOHNSTON Jr., E. R.. Torção em barras de seção não circular. In: **Resistência dos Materiais**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 1982. cap. 3, item 3.12, p.166-169
- BODIG, J. & JAYNE, B.A.. **Mechanics of wood and composites**. New York, NY, Van Nostrand Reinhold. 711p.
- BOHANNAN, B. & KOCH, P.. Beam strength as affected by placement of laminae. **Forest Products Journal**, Madison, WI, july, 1965. p.289-295
- BOHANNAN, B. & MOODY, R. C.. Evolution of glulam strength criteria. **Forest Products Journal**, Madison, WI, june, 1973. v. 23, No. 6, p.19-24
- CAHIERS DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS. **Étude technico-économique de l'aboutage**. Paris, octobre 1973. Cahier No. 92, série III. 48p.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **Canadian Standard 0122-1959, Specification for Glued Laminated Softwood Structural Timber**. Ottawa, Canada, 1959. Second Edition
- CHUGG, W. A.. **GLULAM, The theory and practice of the manufacture of glued laminated timber structures**. London, Ernest Benn Limited, 1964. 423p.
- DUTKO, P.; STELLER, S.; KOZELOUH, B.. **Research into and experience of the use of finger-joints in timber structures in Czechoslovakia**. Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawwood, transmitted by the government of Czechoslovakia. Hamar, Norway, september 1980. 12p.

- ELBY, R. E. & ASCE, A.. Structural finger-jointing criteria and performance. *Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Madison, WI, march, 1968. p.657-668
- ETHINGTON, R. L.. Stiffness and Bending Strength of beam laminated from two species of wood. Madison, WI, U.S.D.A., F.S., F.P.L., 1968. 50p.
- FREAS, A. D.. Factors affecting strength and design principles of glued laminated construction. Madison, WI, U.S.D.A., F.S., F.P.L., october, 1962. Report No. 2061, 10p.
- FREAS, A. D. & SELBO, M. L.. Fabrication and design of glued laminated wood structural members. Madison, WI, U.S.D.A., F.S., F.P.L., February 1954. Technical bulletin, No. 1069, 220p.
- HÁJEK, B.. Testing of finger-joints in structural timber for quality control. Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of Sweden. Hamar, Norway, september 1980. 17p.
- JOKERST, R.. The effect of geometry on the performance of structural finger joints. Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of United States of America. Hamar, Norway, september 1980. 11p.
- JUVONEN, R.. End pressure for finger-jointing. Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of Finland. Hamar, Norway, september 1980. 8p.
- KOCH, P. & Bohannam, B.. Beam strength as affected by placement of laminae. *Forest Products Journal*, Madison, WI, 1965. p.289-295
- KOLB, H.. Production of finger-jointed timber, specially in the Federal Republic of Germany. Presented at the Seminar on the

- production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of Federal Republic of Germany. Hamar, Norway, september 1980. 12p.
- LAMB-SHINE, D. & WANDS R. W.. **Structural finger-joints.** Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of United Kingdom. Hamar, Norway, september 1980. 6p.
- MADSEN, B. & LITTLEFORD, T. W.. Finger joints for structural usage. **Forest Products Journal**, Madison, WI, february 1962. p.68-73.
- MANTILLA, CARRASCO, E. V.. **Ligações Estruturais de madeira por Adesivos.** São Carlos, EESC, 1984. 436p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas)
- MANTILLA, CARRASCO, E. V.. **Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada.** São Carlos, EESC, junho 1989. 343p. Tese (Doutor em Engenharia de Estruturas)
- MOLITERNO, A.. **Escoramentos, cimbramentos, fôrmas para concreto e travessias em estruturas de madeira.** São Paulo, Edgard Blücher, 1989. 379p.
- MORKVED, K.. **Production, marketing and use of finger-jointed sawnwood: an overview.** Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of Norway. Hamar, Norway, september 1980. 7p.
- RAKNES, E.. **The influence of production conditions on the strength of finger-joints.** Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of Norway. Hamar, Norway, september 1980. 14p.
- RICHARDS, D. B.. Improved tips for finger joints. **Forest Products Journal**, Madison, WI, june 1963. p.250-251
- SCHARFETTER, H. & PIZZI, A.. **Adhesives used in South Africa to Finger**

- joint-structural timber.** Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of South Africa. Hamar, Norway, september 1980. 6p.
- SELBO, M. L.. Effect of joint geometry on tensile strength of finger joints. **Forest Products Journal**, Madison, WI, september 1963. p.390-400
- SMITH, F. W.. **An investigation of interface pressures in a clamped assembly of wood laminations.** Thesis Master of Science of University of Wisconsin
- SPIEGEL, M. R.. Teoria das pequenas amostras. In: **Estatística.** São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. 1977. cap. 11, p.310-330
- STRICKLER, M. D. & PELLERIN, R. F.. Tension proof loading of finger joints for laminated beams. **Forest Products Journal**, Madison, WI, june, 1971. v. 21, No. 6, p.19-24
- SZÜCS, C. A.. **Étude d'un assemblage par pièce de coin en bois lamellé-collé renforcé par fibres de verre.** Meltz, octobre 1991. 199p. Thèse (Docteur de sciences de l'Ingénieur)
- SUNLEY, J. G.. **The structural use of finger-jointing.** Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of United Kingdom. Hamar, Norway, september 1980. 4p.
- TIMOSHENKO, S. P.. Teoria de la elasticidad. Buenos Aires, Argentina, El Ateneo, 1954.
- VAN ZYL, J. P. & BURGER, I. S. J.. **Some views on quality control.** Presented at the Seminar on the production, marketing and use of finger-Jointed sawnwood, transmitted by the government of South Africa. Hamar, Norway, september 1980. 20p.
- WOLFE, R. W. & MOODY, R. C.. **A summary of modulus of Elasticity and**

knot size surveys for laminating grades of lumber. Madison, WI, U.S.D.A., F.S., F.P.L., June 1981. General technical report No. 31, 19p.

WOOD HANDBOOK: WOOD AS AN ENGINEERING MATERIAL. U.S.D.A, F.S., F.P.L. Agriculture Handbook No. 72, 1987

ANEXO

Quadro 1 - Resultados dos ensaios de flexão

PEÇA N ^o	TRAMO	FLECHA ($\times 10^{-2}$ mm)		
		P1	P2	P3
2	1	185	357	538
	2	96	196	291
	3	88	174	260
	4	72	144	217
9	1	104	209	318
	2	83	165	252
	3	93	192	291
	4	162	305	442
12	1	110	222	331
	2	86	174	263
	3	117	243	344
	4	133	280	423
15	1	97	202	302
	2	57	112	170
	3	54	108	162
	4	63	124	183
16	1	100	197	296
	2	60	119	179
	3	57	111	169
	4	68	133	200

Quadro 1 - Resultados dos ensaios de flexão
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO	FLECHA ($\times 10^{-2}$ mm)		
		P1	P2	P3
24	1	100	199	301
	2	69	137	205
	3	74	151	226
	4	97	195	296
26	1	104	197	289
	2	53	107	162
	3	65	131	198
	4	100	199	300
27	1	70	144	215
	2	56	111	169
	3	65	124	182
	4	81	154	228
29	1	92	186	282
	2	64	128	193
	3	73	148	220
	4	112	230	347
31	1	121	248	361
	2	68	136	209
	3	72	141	206
	4	80	163	244

Quadro 1 - Resultados dos ensaios de flexão
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO	FLECHA ($\times 10^{-2}$ mm)		
		P1	P2	P3
32	1	83	172	262
	2	57	117	178
	3	66	137	206
	4	79	165	247
33	1	81	164	250
	2	51	107	163
	3	55	116	176
	4	74	154	232
34	1	110	206	304
	2	64	123	187
	3	58	118	181
	4	84	169	254
40	1	98	199	297
	2	72	145	220
	3	66	133	201
	4	80	167	253
44	1	87	179	271
	2	68	135	203
	3	73	150	228
	4	109	223	336

Quadro 1 - Resultados dos ensaios de flexão
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO	FLECHA ($\times 10^{-2}$ mm)		
		P1	P2	P3
47	1	85	171	256
	2	64	126	192
	3	67	139	208
	4	85	179	272
48	1	67	132	200
	2	40	81	122
	3	52	103	156
	4	62	129	194
49	1	93	167	239
	2	58	103	147
	3	135	207	273
	4	103	202	280
68	1	41	83	125
	2	52	87	114
	3	24	49	74
	4	35	71	108
94	1	10	21	31
	2	19	34	44
	3	16	34	51
	4	26	53	81

Quadro 2 - Características geométricas das peças

PEÇA N ^o	TRAMO	COMPR. (cm)	LARGURA (cm)	ALTURA (cm)	MOMENTO DE INÉRCIA (cm ⁴)
2	1	89,70	19,00	0,900	1,15425
	2	89,70	19,00	0,905	1,17359
	3	89,70	19,00	0,910	1,19315
	4	89,70	19,00	0,915	1,21293
9	1	87,375	19,10	0,930	1,28027
	2	87,375	19,00	0,910	1,19315
	3	87,375	18,90	0,900	1,14818
	4	87,375	19,00	0,920	1,23292
12	1	87,375	19,10	0,920	1,23941
	2	87,375	19,00	0,910	1,19315
	3	87,375	18,90	0,900	1,14818
	4	87,375	19,00	0,940	1,31509
15	1	87,50	19,00	0,890	1,11620
	2	87,50	19,00	0,890	1,11620
	3	87,50	19,00	0,900	1,15425
	4	87,50	19,00	0,890	1,11620
16	1	87,375	19,00	0,890	1,11620
	2	87,375	19,00	0,890	1,11620
	3	87,375	19,00	0,880	1,07900
	4	87,375	19,00	0,910	1,19315

Quadro 2 - Características geométricas das peças
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO	COMPR. (cm)	LARGURA (cm)	ALTURA (cm)	MOMENTO DE INÉRCIA (cm ⁴)
24	1	87,125	18,50	0,870	1,01519
	2	87,125	19,00	0,890	1,11620
	3	87,125	19,00	0,920	1,23292
	4	87,125	19,00	0,890	1,11620
26	1	87,50	24,40	0,890	1,43344
	2	87,50	24,00	0,850	1,22825
	3	87,50	24,00	0,840	1,18541
	4	87,50	24,00	0,810	1,06288
27	1	87,375	24,55	0,890	1,44225
	2	87,375	24,50	0,890	1,43931
	3	87,375	24,45	0,910	1,53540
	4	87,375	24,50	0,920	1,58982
29	1	89,75	24,45	0,940	1,69231
	2	89,75	24,50	0,980	1,92160
	3	89,75	24,40	0,960	1,79896
	4	89,75	24,40	0,970	1,85577
31	1	87,25	24,20	0,895	1,44578
	2	87,25	24,15	0,915	1,54170
	3	87,25	24,20	0,890	1,42169
	4	87,25	24,40	0,910	1,53226

Quadro 2 - Características geométricas das peças
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO	COMPR. (cm)	LARGURA (cm)	ALTURA (cm)	MOMENTO DE INÉRCIA (cm ⁴)
32	1	87,50	24,50	0,840	1,21010
	2	87,50	24,50	0,880	1,39134
	3	87,50	24,50	0,880	1,39134
	4	87,50	24,40	0,870	1,33896
33	1	87,375	24,50	0,910	1,53854
	2	87,375	24,50	0,900	1,48838
	3	87,375	24,30	0,870	1,33347
	4	87,375	24,30	0,890	1,42756
34	1	87,25	24,45	0,860	1,29596
	2	87,25	24,40	0,870	1,33896
	3	87,25	24,30	0,880	1,37998
	4	87,25	24,30	0,870	1,33347
40	1	87,25	24,45	0,880	1,38850
	2	87,25	24,40	0,900	1,48230
	3	87,25	24,45	0,920	1,58658
	4	87,25	24,40	0,920	1,58333
44	1	84,875	24,50	0,880	1,39134
	2	84,875	24,35	0,910	1,52912
	3	84,875	24,35	0,900	1,47926
	4	84,875	24,30	0,900	1,47623

Quadro 2 - Características geométricas das peças
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO	COMPR. (cm)	LARGURA (cm)	ALTURA (cm)	MOMENTO DE INÉRCIA (cm ⁴)
47	1	84,75	24,50	0,910	1,53854
	2	84,75	24,35	0,880	1,38282
	3	84,75	24,15	0,900	1,46711
	4	84,75	24,15	0,880	1,37146
48	1	84,75	24,45	0,870	1,34170
	2	84,75	24,30	0,860	1,28801
	3	84,75	24,30	0,860	1,28801
	4	84,75	24,35	0,870	1,33621
49	1	84,75	24,35	0,870	1,33621
	2	84,75	24,25	0,830	1,15549
	3	84,75	24,25	0,810	1,07395
	4	84,75	24,25	0,860	1,28536
68	1	99,75	16,90	1,330	3,31330
	2	99,75	17,00	1,320	3,25829
	3	99,75	17,00	1,320	3,25829
	4	99,75	17,00	1,320	3,25829
94	1	87,125	19,30	2,120	15,32441
	2	87,125	19,15	2,130	15,42149
	3	87,125	19,30	2,120	15,32441
	4	87,125	19,30	2,140	15,76222

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo

PEÇA N ^o	CARGA		MOMENTO (Nm) x 0,1			
			Mc	M1	M2	M3
2	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,950	-8,951	+2,370	-0,585
		P1	+10,404	-5,188	+1,374	-0,339
		P2	+20,820	-10,382	+2,749	-0,679
		P3	+31,237	-15,577	+4,124	-1,018
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,571	-6,530	-7,178	+1,772
		P1	+9,025	-3,785	-4,160	+1,027
		P2	+18,061	-7,574	-8,326	+2,055
		P3	+27,097	-11,364	-12,491	+3,084
9	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,587	-8,513	+2,318	-0,600
		P1	+10,193	-4,934	+1,344	-0,348
		P2	+20,399	-9,874	+2,689	-0,696
		P3	+30,605	-14,814	+4,034	-1,044
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+14,966	-6,641	-7,114	+1,842
		P1	+8,674	-3,849	-4,123	+1,068
		P2	+17,359	-7,703	-8,252	+2,137
		P3	+26,044	-11,557	-12,380	+3,205

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA		MOMENTO (Nm) x 0,1			
			Mc	M1	M2	M3
12	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,738	-8,211	+2,233	-0,570
		P1	+10,281	-4,759	+1,294	-0,330
		P2	+20,574	-9,524	+2,590	-0,661
		P3	+30,868	-14,289	+3,886	-0,992
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,007	-6,541	-7,133	+1,820
		P1	+8,698	-3,791	-4,134	+1,055
		P2	+17,407	-7,587	-8,274	+2,111
		P3	+26,115	-11,383	-12,413	+3,167
15	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,431	-8,889	+2,341	-0,585
		P1	+10,103	-5,152	+1,357	-0,339
		P2	+20,218	-10,310	+2,715	-0,679
		P3	+30,333	-15,469	+4,074	-1,018
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,172	-6,468	-6,939	+1,735
		P1	+8,794	-3,749	-4,022	+1,006
		P2	+17,598	-7,502	-8,049	+2,012
		P3	+26,402	-11,256	-12,075	+3,019

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA	MOMENTO (Nm) x 0,1				
		Mc	M1	M2	M3	
16	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,663	-8,362	+2,269	-0,567
		P1	+10,237	-4,847	+1,315	-0,329
		P2	+20,487	-9,699	+2,632	-0,658
		P3	+30,737	-14,552	+3,949	-0,987
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,065	-6,403	-7,155	+1,789
		P1	+8,732	-3,711	-4,147	+1,037
		P2	+17,474	-7,427	-8,299	+2,075
		P3	+26,216	-11,143	-12,451	+3,113
24	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,230	-9,102	+2,313	-0,550
		P1	+9,987	-5,276	+1,341	-0,319
		P2	+19,985	-10,557	+2,683	-0,638
		P3	+29,984	-15,839	+4,025	-0,957
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,330	-6,168	-6,735	+1,602
		P1	+8,885	-3,575	-3,904	+0,929
		P2	+17,781	-7,154	-7,812	+1,858
		P3	+26,677	-10,734	-11,720	+2,788

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA		MOMENTO (Nm) x 0,1			
			Mc	M1	M2	M3
26	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,265	-9,220	+2,519	-0,677
		P1	+10,007	-5,344	+1,460	-0,392
		P2	+20,026	-10,694	+2,922	-0,785
		P3	+30,045	-16,045	+4,384	-1,178
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+14,878	-6,921	-7,073	+1,902
		P1	+8,623	-4,011	-4,100	+1,102
		P2	+17,257	-8,028	-8,204	+2,206
		P3	+25,891	-12,044	-12,308	+3,310
27	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,538	-8,611	+2,223	-0,556
		P1	+10,165	-4,991	+1,288	-0,322
		P2	+20,342	-9,988	+2,578	-0,645
		P3	+30,520	-14,985	+3,868	-0,968
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,204	-6,496	-6,783	+1,696
		P1	+8,812	-3,765	-3,931	+0,983
		P2	+17,635	-7,535	-7,868	+1,967
		P3	+26,458	-11,304	-11,804	+2,951

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA	MOMENTO (Nm) x 0,1				
		Mc	M1	M2	M3	
29	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+18,007	-8,862	+2,422	-0,569
		P1	+10,437	-5,136	+1,404	-0,330
		P2	+20,886	-10,279	+2,809	-0,660
		P3	+31,336	-15,422	+4,215	-0,990
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,607	-6,142	-7,520	+1,767
		P1	+9,046	-3,560	-4,359	+1,024
		P2	+18,103	-7,124	-8,722	+2,050
		P3	+27,159	-10,688	-13,086	+3,075
31	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,559	-8,507	+2,336	-0,569
		P1	+10,177	-4,931	+1,354	-0,330
		P2	+20,367	-9,867	+2,710	-0,660
		P3	+30,556	-14,804	+4,065	-0,990
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,073	-6,196	-7,283	+1,774
		P1	+8,736	-3,591	-4,221	+1,028
		P2	+17,483	-7,187	-8,448	+2,058
		P3	+26,230	-10,782	-12,674	+3,087

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA		MOMENTO (Nm) x 0,1			
			Mc	M1	M2	M3
32	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,418	-8,915	+2,367	-0,552
		P1	+10,095	-5,167	+1,372	-0,320
		P2	+20,203	-10,341	+2,745	-0,640
		P3	+30,311	-15,514	+4,119	-0,961
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,318	-5,994	-7,120	+1,661
		P1	+8,878	-3,474	-4,127	+0,963
		P2	+17,767	-6,952	-8,258	+1,927
		P3	+26,656	-10,431	-12,390	+2,890
33	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,599	-8,490	+2,385	-0,606
		P1	+10,200	-4,921	+1,382	-0,351
		P2	+20,413	-9,848	+2,766	-0,703
		P3	+30,626	-14,774	+4,150	-1,055
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+14,922	-6,453	-7,391	+1,880
		P1	+8,649	-3,740	-4,284	+1,090
		P2	+17,308	-7,485	-8,573	+2,181
		P3	+25,967	-11,230	-12,862	+3,272

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA		MOMENTO (Nm) x 0,1			
			Mc	M1	M2	M3
34	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,373	-8,880	+2,331	-0,574
		P1	+10,069	-5,147	+1,351	-0,333
		P2	+20,151	-10,300	+2,704	-0,666
		P3	+30,232	-15,453	+4,056	-0,999
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,177	-6,351	-6,921	+1,704
		P1	+8,797	-3,681	-4,011	+0,988
		P2	+17,604	-7,367	-8,028	+1,976
		P3	+26,411	-11,052	-12,044	+2,965
40	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,442	-8,742	+2,249	-0,544
		P1	+10,109	-5,067	+1,304	-0,315
		P2	+20,231	-10,140	+2,609	-0,631
		P3	+30,353	-15,213	+3,914	-0,947
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,277	-6,266	-6,806	+1,646
		P1	+8,855	-3,632	-3,945	+0,954
		P2	+17,720	-7,268	-7,894	+1,909
		P3	+26,585	-10,904	-11,844	+2,864

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA		MOMENTO (Nm) x 0,1			
			Mc	M1	M2	M3
44	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+16,954	-8,530	-2,287	-0,547
		P1	+9,827	-4,944	+1,326	-0,317
		P2	+19,665	-9,894	+2,653	-0,634
		P3	+29,503	-14,844	+3,980	-0,952
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+14,772	-5,957	-6,936	+1,660
		P1	+8,562	-3,453	-4,020	+0,962
		P2	+17,134	-6,910	-8,045	+1,925
		P3	+25,706	-10,366	-12,070	+2,889
47	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+16,807	-8,762	+2,290	-0,602
		P1	+9,741	-5,078	+1,327	-0,349
		P2	+19,494	-10,163	+2,656	-0,698
		P3	+29,248	+15,248	+3,985	-1,048
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+14,588	-6,627	-6,573	+1,728
		P1	+8,455	-3,841	-3,810	+1,002
		P2	+16,921	-7,687	-7,624	+2,004
		P3	+25,386	-11,532	-11,438	+3,007

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA	MOMENTO (Nm) × 0,1				
		Mc	M1	M2	M3	
48	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,023	-8,330	+2,225	-0,569
		P1	+9,867	-4,828	+1,290	-0,330
		P2	+19,745	-9,662	+2,581	-0,660
		P3	+29,623	-14,496	+3,872	-0,990
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+14,600	-6,395	-6,781	+1,734
		P1	+8,462	-3,707	-3,930	+1,005
		P2	+16,935	-7,418	-7,865	+2,011
		P3	+25,407	-11,129	-11,800	+3,018
49	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,275	-7,825	+2,174	-0,583
		P1	+10,013	-4,535	+1,260	-0,338
		P2	+20,037	-9,076	+2,522	-0,676
		P3	+30,062	-13,617	+3,783	-1,015
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+14,369	-6,657	-6,980	+1,873
		P1	+8,328	-3,858	-4,046	+1,086
		P2	+16,667	-7,721	-8,096	+2,172
		P3	+25,005	-11,585	-12,147	+3,259

Quadro 3 - Momentos fletores por tramo
(continuação)

PEÇA N ^o	CARGA		MOMENTO (Nm) x 0,1			
			Mc	M1	M2	M3
68	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+19,927	-10,021	+2,676	-0,680
		P1	+11,550	-5,808	+1,551	-0,394
		P2	+23,113	-11,623	+3,104	-0,789
		P3	+34,677	-17,439	+4,657	-1,183
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+17,205	-7,474	-7,992	+2,031
		P1	+9,972	-4,332	-4,632	+1,177
		P2	+19,956	-8,669	-9,270	+2,356
		P3	+29,940	-13,006	-13,908	+3,534
94	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 1	P0	+17,405	-8,753	+2,334	-0,584
		P1	+10,088	-5,073	+1,353	-0,338
		P2	+20,188	-10,153	+2,707	-0,677
		P3	+30,288	-15,232	+4,062	-1,016
	CARGA APLI- CADA NO TRAMO 2	P0	+15,072	-6,417	-7,002	+1,751
		P1	+8,736	-3,719	-4,058	+1,015
		P2	+17,482	-7,443	-8,122	+2,031
		P3	+26,228	-11,167	-12,185	+3,047

Quadro 4 - Módulo de Elasticidade

PEÇA N ^o	TRAMO DE APLICAÇÃO DA CARGA	MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)			
		P1	P2	P3	MÉDIA
2	1	2851,70	2957,24	2944,18	2917,71
	2	5554,35	5444,36	5501,61	5500,11
	3	6242,26	6317,85	6343,48	6301,20
	4	9098,91	9104,14	9064,25	9089,10
9	1	4227,98	4210,38	4151,67	4196,68
	2	5813,58	5852,60	5749,24	5805,14
	3	5672,84	5499,10	5443,52	5538,48
	4	3710,30	3943,92	4083,08	3912,43
12	1	4135,01	4100,20	4125,90	4120,37
	2	5618,16	5557,18	5515,88	5563,74
	3	4503,66	4339,65	4599,08	4480,80
	4	4250,54	4040,40	4012,65	4101,20
15	1	5222,07	5018,21	5035,90	5092,06
	2	9131,55	9294,06	9186,45	9204,02
	3	9767,25	9772,76	9774,66	9771,56
	4	10528,39	10704,52	10882,27	10705,06
16	1	5041,31	5121,22	5113,68	5092,07
	2	8622,40	8699,94	8677,33	8666,56
	3	9821,74	10093,13	9945,77	9953,55
	4	9161,79	9374,25	9352,83	9296,29

Quadro 4 - Módulo de Elasticidade
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO DE APLICAÇÃO DA CARGA	MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)			
		P1	P2	P3	MÉDIA
24	1	5501,94	5532,51	5487,74	5507,40
	2	7476,85	7535,91	7555,87	7522,88
	3	6609,45	6482,01	6497,73	6529,73
	4	6590,68	6560,40	6484,22	6545,10
26	1	3795,20	4009,49	4100,54	3968,41
	2	8853,72	8776,50	8697,00	8775,74
	3	7924,84	7869,41	7811,36	7868,54
	4	6965,90	7005,08	6971,50	6980,83
27	1	5574,99	5423,37	5449,81	5482,72
	2	7172,69	7241,98	7136,25	7183,64
	3	6100,59	6399,88	6541,80	6347,42
	4	5716,86	6017,42	6097,97	5944,08
29	1	4467,42	4423,56	4378,66	4423,21
	2	6596,29	6604,24	6570,02	6590,18
	3	6006,06	5932,00	5985,98	5974,68
	4	4770,99	4650,74	4625,47	4682,40
31	1	3204,30	3128,69	3224,63	3185,87
	2	5497,09	5500,67	5370,11	5455,96
	3	5852,40	5980,80	6141,67	5991,62
	4	5978,72	5872,33	5885,45	5912,17

Quadro 4 - Módulo de Elasticidade
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO DE APLICAÇÃO DA CARGA	MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)			
		P1	P2	P3	MÉDIA
32	1	5627,62	5434,81	5352,94	5471,79
	2	7358,85	7174,44	7075,18	7202,82
	3	6594,11	6357,26	6343,20	6431,52
	4	6911,48	6622,54	6637,33	6723,78
33	1	4518,10	4465,83	4395,24	4459,72
	2	7596,61	7245,87	7136,12	7326,20
	3	8205,33	7785,50	7698,54	7896,46
	4	7007,98	6739,22	6711,53	6819,57
34	1	3931,07	4200,89	4270,75	4134,24
	2	6723,76	7001,25	6908,92	6877,98
	3	7545,25	7421,78	7259,08	7408,70
	4	6509,05	6474,66	6463,08	6482,26
40	1	4118,21	4058,68	4080,03	4085,64
	2	5409,98	5375,66	5315,61	5367,08
	3	5777,14	5736,90	5695,19	5736,41
	4	5753,00	5515,35	5462,00	5576,79
44	1	4261,59	4144,89	4107,44	4171,31
	2	5110,80	5151,69	5139,99	5134,16
	3	5119,17	4985,58	4920,90	5008,55
	4	4166,24	4075,12	4057,69	4099,68

Quadro 4 - Módulo de Elasticidade
(continuação)

PEÇA N ^o	TRAMO DE APLICAÇÃO DA CARGA	MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)			
		P1	P2	P3	MÉDIA
47	1	3928,37	3907,88	3916,44	3917,56
	2	5935,43	6033,42	5940,19	5969,68
	3	5671,16	5470,63	5484,72	5542,17
	4	5762,89	5476,57	5407,39	5548,95
48	1	5714,35	5804,22	5747,26	5755,28
	2	10212,17	10092,52	10053,02	10119,23
	3	8269,18	8354,74	8275,92	8299,95
	4	8139,87	7828,79	7810,08	7926,25
49	1	4144,44	4618,61	4841,88	4534,98
	2	7814,03	8805,77	9256,93	8625,58
	3	3815,55	4979,97	5665,20	4820,24
	4	5169,68	5275,03	5709,57	5384,76
68	1	6161,42	6090,68	6067,68	6106,59
	2	5068,97	6063,15	6942,10	6024,74
	3	11522,41	11294,08	11220,01	11345,50
	4	9628,91	9498,71	9368,86	9498,83
94	1	3641,51	3470,23	3526,89	3546,21
	2	1953,00	2184,08	2532,02	2223,03
	3	2456,54	2313,42	2313,87	2361,28
	4	1786,41	1753,77	1721,63	1753,94

Quadro 5 - Tamanho dos nós e suas posições nas tábuas, p/ conjunto 4

PEÇA No.	COMPR. (m)	ESPECIE: Pinus Elliotti		CONJUNTO: 4									
		DISTÂNCIA DA EXTREMIDADE (m)											
		0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6
80	3,30		6	4	4	8	4	2	2	3	2		
81	3,30		2	4	2	5	5	2	4	10			
82	3,30		5	5	4	5	3	3		3			
83	2,40	4	10	10	2	2	5	6	10				
84	3,30		2	2	2	2	2	2	2	4			
85	3,50	4	2	5	6	2	2	4	2	2	1		
86	1,80		4	9	5	2	10	5					
87	3,50	1	5	6	10	5	10	5	2		4	4	
88	3,50		4	4	4								
89	3,00	8	3	7	9	4	4	4	10	7	2		

Quadro 7 - Distribuição das somas do tamanho dos nós, dentro de intervalos de 30 cm, para todos os conjuntos

Soma do Tamanho dos nós (em unidades de 0,50 cm) (1)	Soma Total das Ocorrências p/ Cada Conjunto				Para Todas as Amostras			
	1 (2)	2 (3)	3 (4)	4 (5)	Total (6)	Total acumulado (7)	Total acum. (%) (8)	Soma total (9)
0	682	699	815	566	2762	2762	47,07	0
1	18	12	2	9	41	2803	47,77	41
2	95	97	74	116	382	3185	54,28	764
3	43	17	32	26	118	3303	56,29	354
4	119	132	82	93	426	3729	63,55	1704
5	51	56	86	38	231	3960	67,48	1155
6	95	85	81	56	317	4277	72,89	1902
7	41	36	72	34	183	4460	76,01	1281
8	47	53	136	24	260	4720	80,44	2080
9	20	56	47	17	140	4860	82,82	1260
10	80	60	99	59	298	5158	87,90	2980
11	9	37	13	21	80	5238	89,26	880
12	44	45	33	4	126	5364	91,41	1512
13	23	15	18	2	58	5422	92,40	754
14	33	26	6	20	85	5507	93,85	1190
15	9	10	23	19	61	5568	94,89	915
16	22	17	13	4	56	5624	95,84	896
17	30	11	11	3	55	5679	96,78	935
18	27	28	5	3	63	5742	97,85	1134
19	12	22		6	40	5782	98,53	760
20	3	18	2		23	5805	98,93	460
21		5			5	5810	99,01	105
22		24			24	5834	99,42	528
23		18			18	5852	99,73	414
24	1	15			16	5868	100	384
Σ	1504	1594	1650	1120	5868	—	—	24388

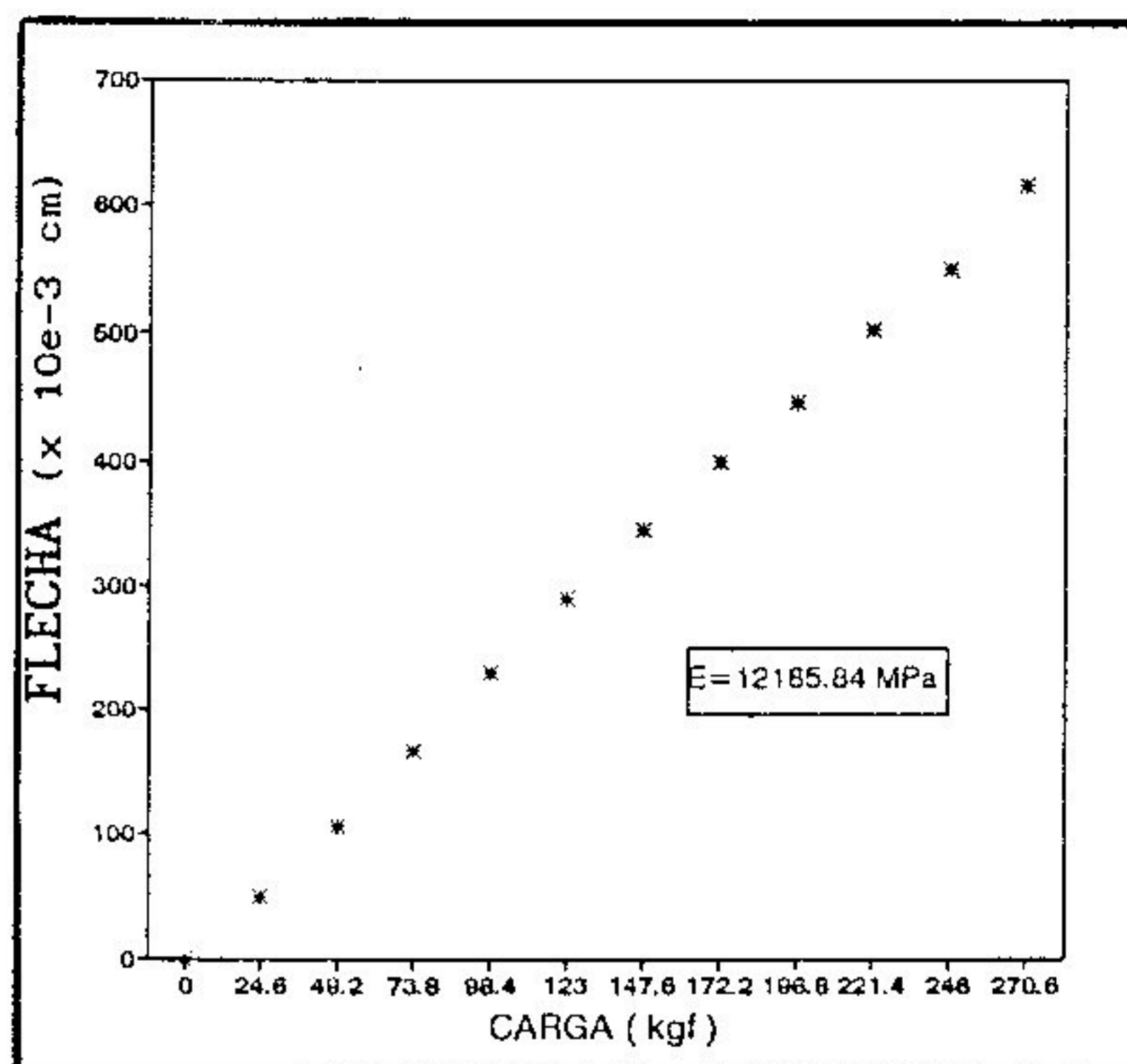
GRÁFICOS DO ANEXO

VIGA 1 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

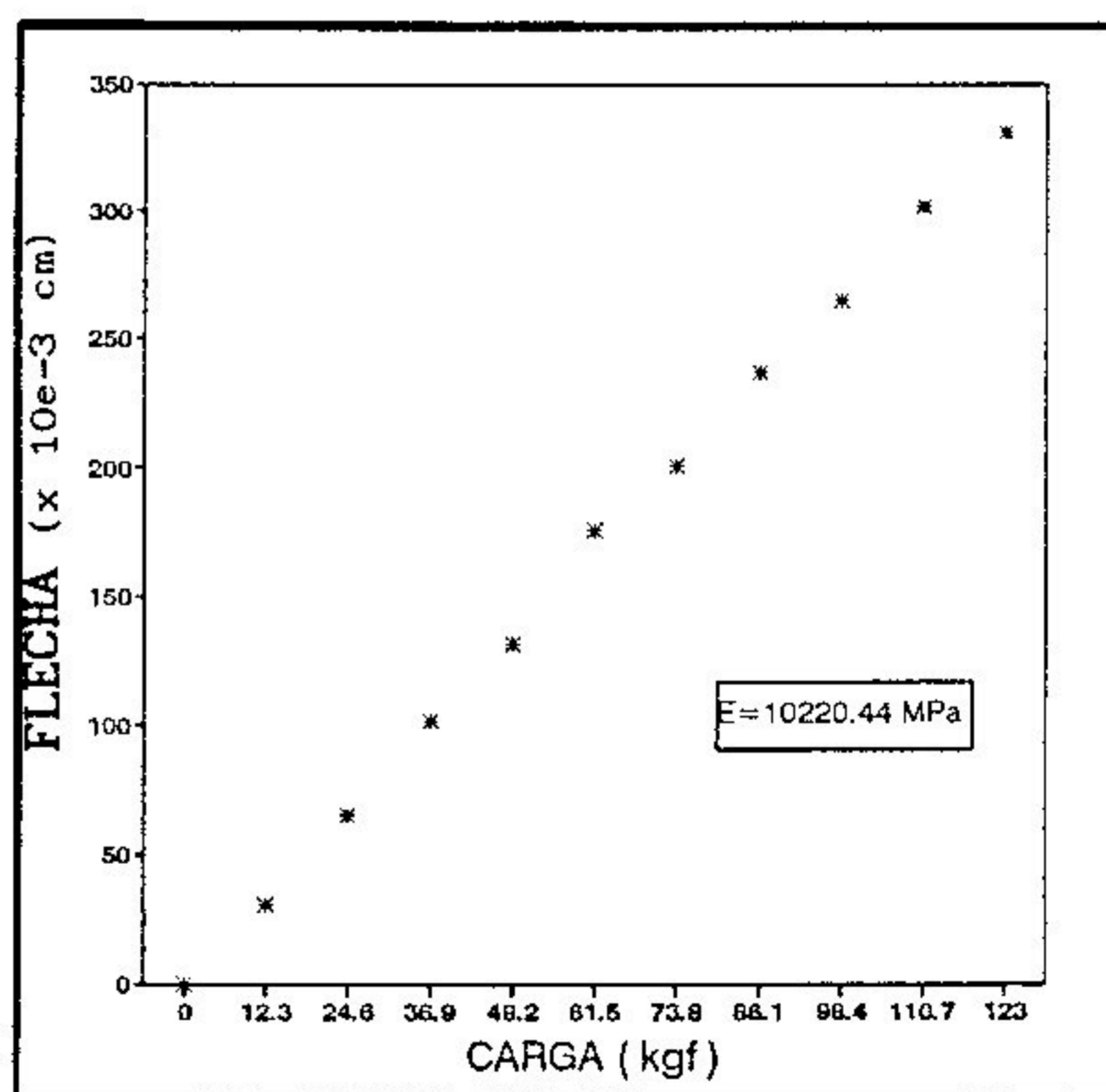
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
24.6	50
49.2	106
73.8	166
98.4	229
123	290
147.6	345
172.2	400
196.8	446
221.4	502
246	550
270.6	616



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	30
24.6	65
36.9	101
49.2	131
61.5	175
73.8	200
86.1	236
98.4	264
110.7	301
123	330

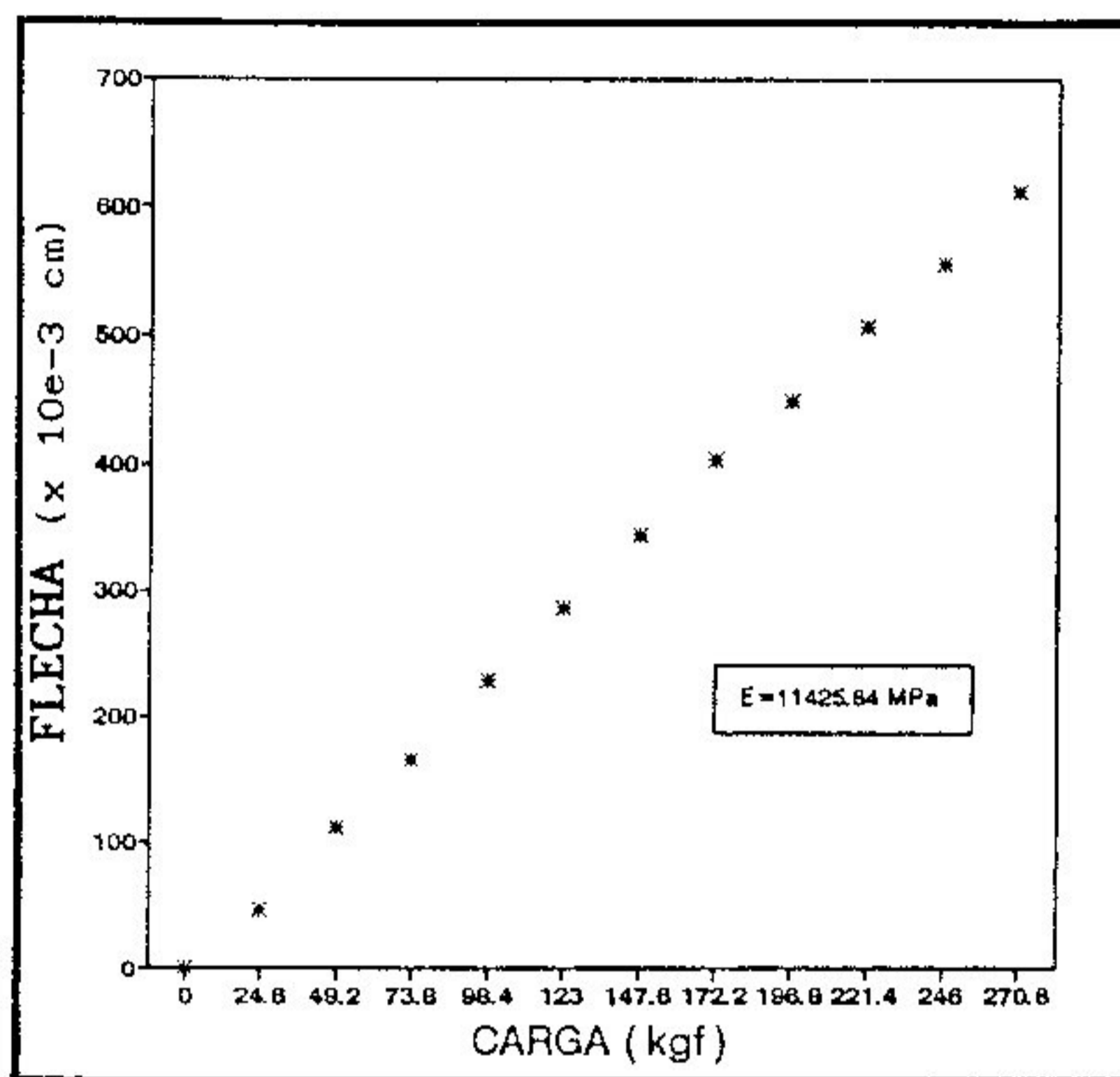


VIGA 1 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

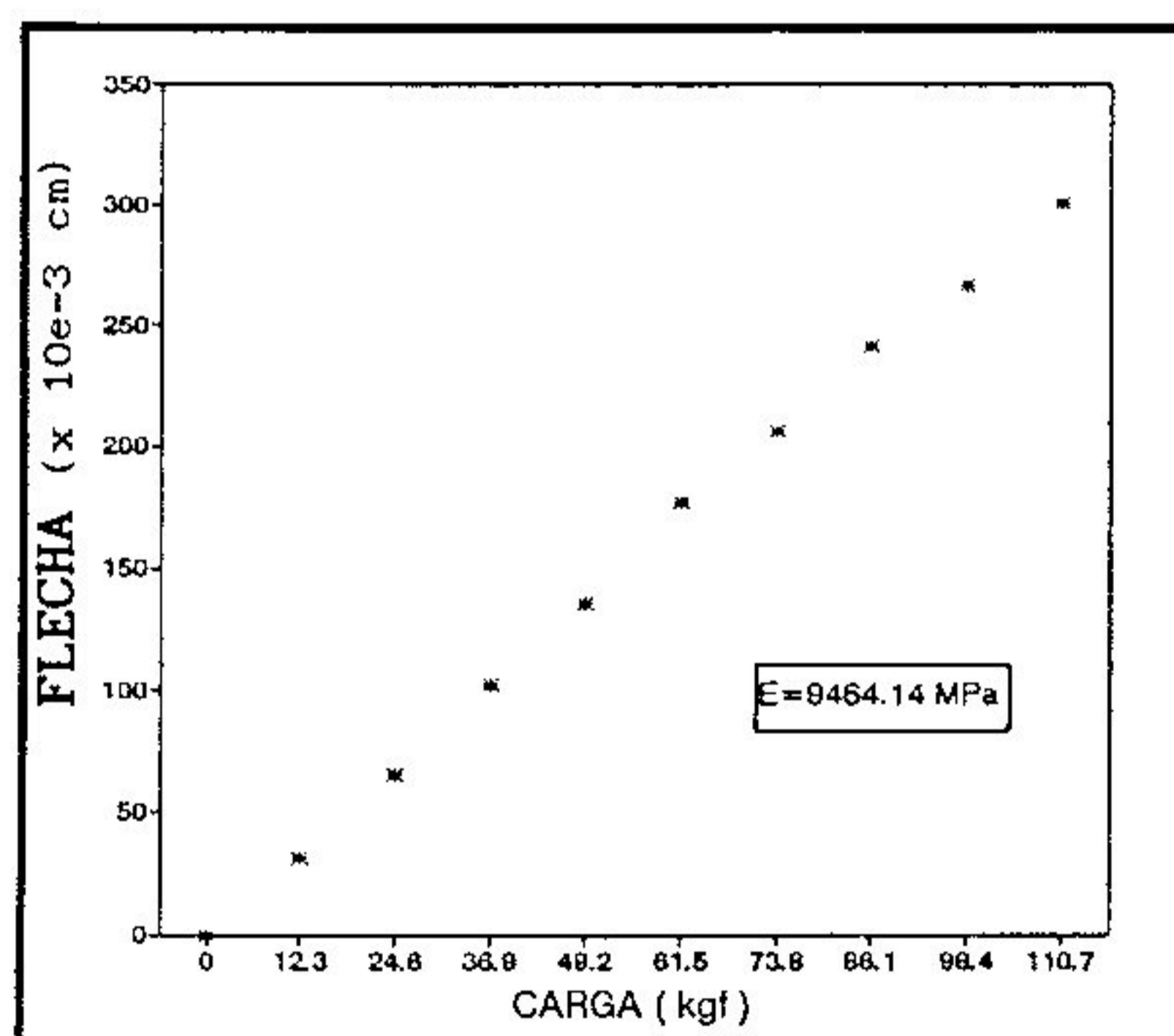
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
24.6	46
49.2	112
73.8	166
98.4	229
123	286
147.6	344
172.2	403
196.8	449
221.4	506
246	554
270.6	612



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	31
24.6	65
36.9	102
49.2	135
61.5	177
73.8	206
86.1	241
98.4	266
110.7	301

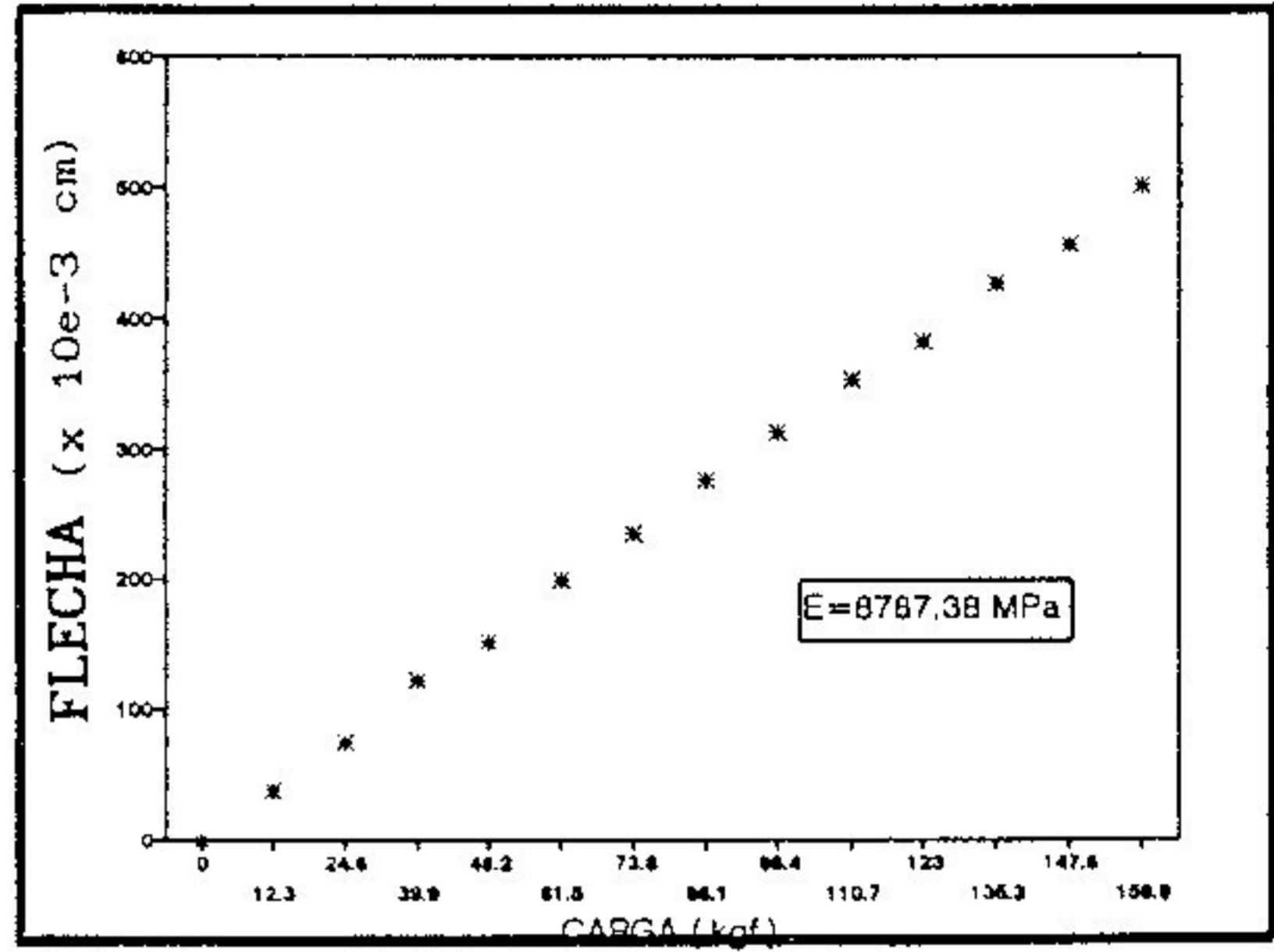


VIGA 2 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

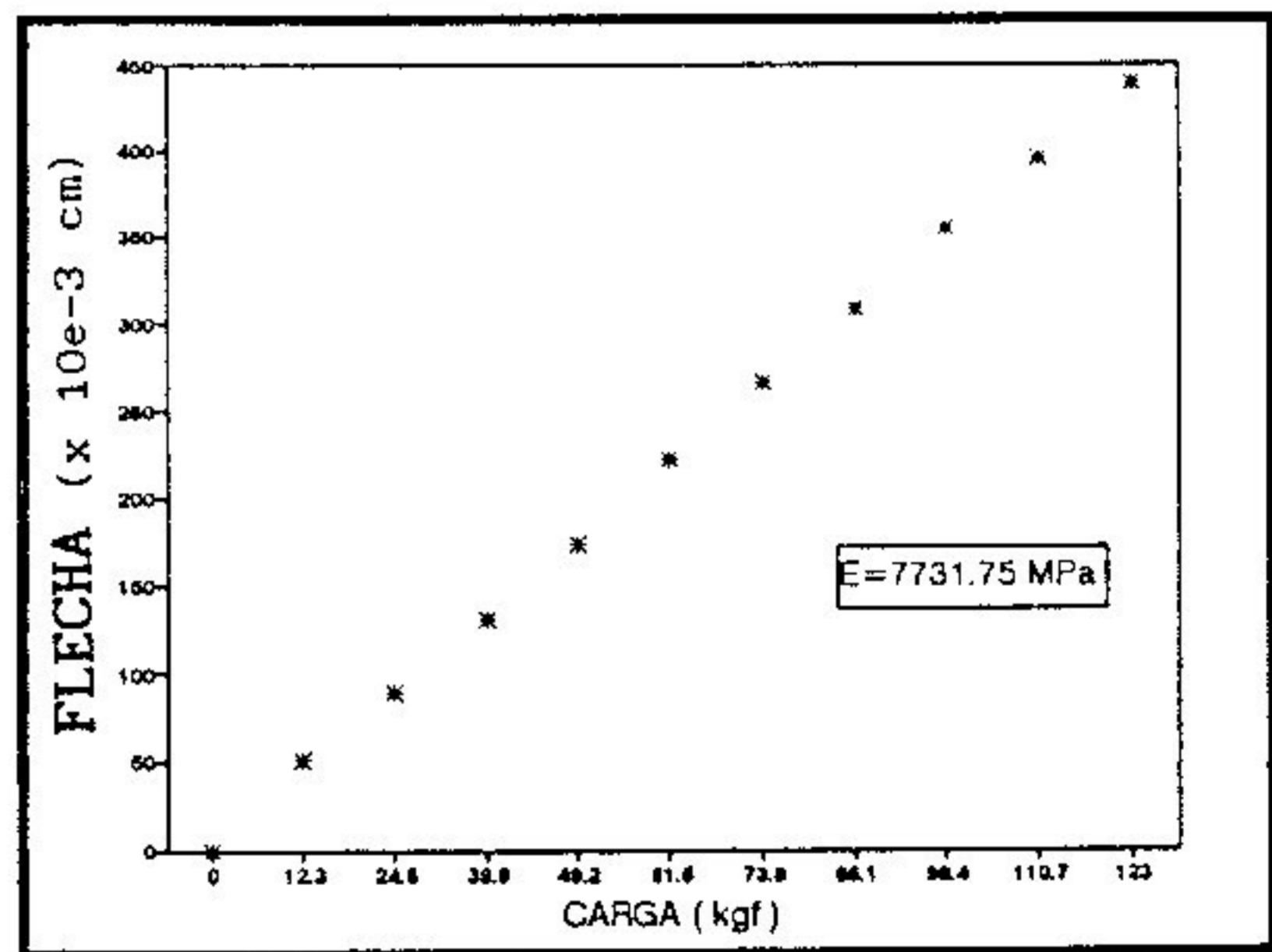
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	37
24.6	74
39.9	121
49.2	151
61.5	198
73.8	234
86.1	276
98.4	312
110.7	353
123	382
135.3	426
147.6	456
159.9	502



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	51
24.6	89
39.9	131
49.2	174
61.5	222
73.8	267
86.1	308
98.4	355
110.7	395
123	439

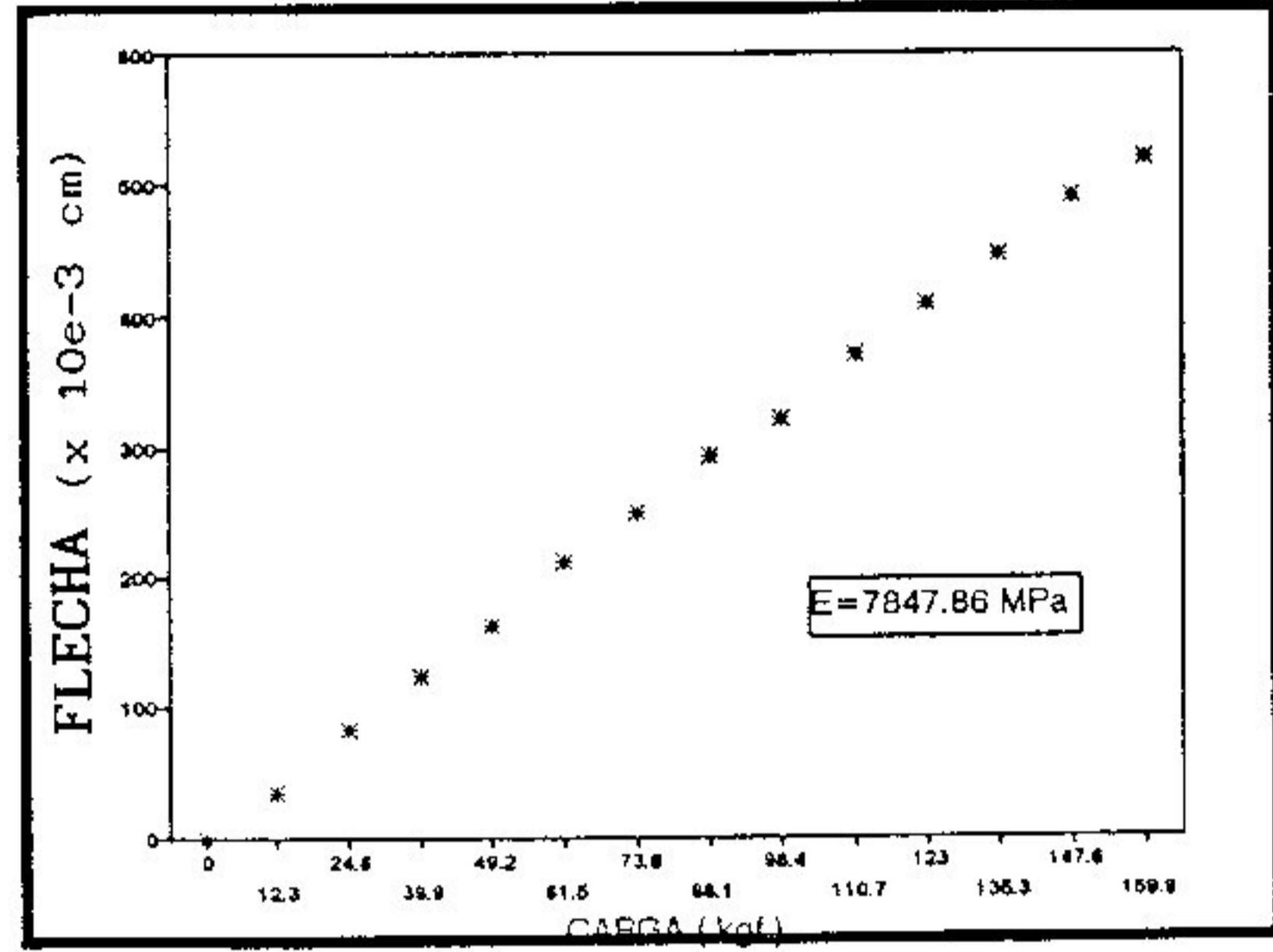


VIGA 2 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

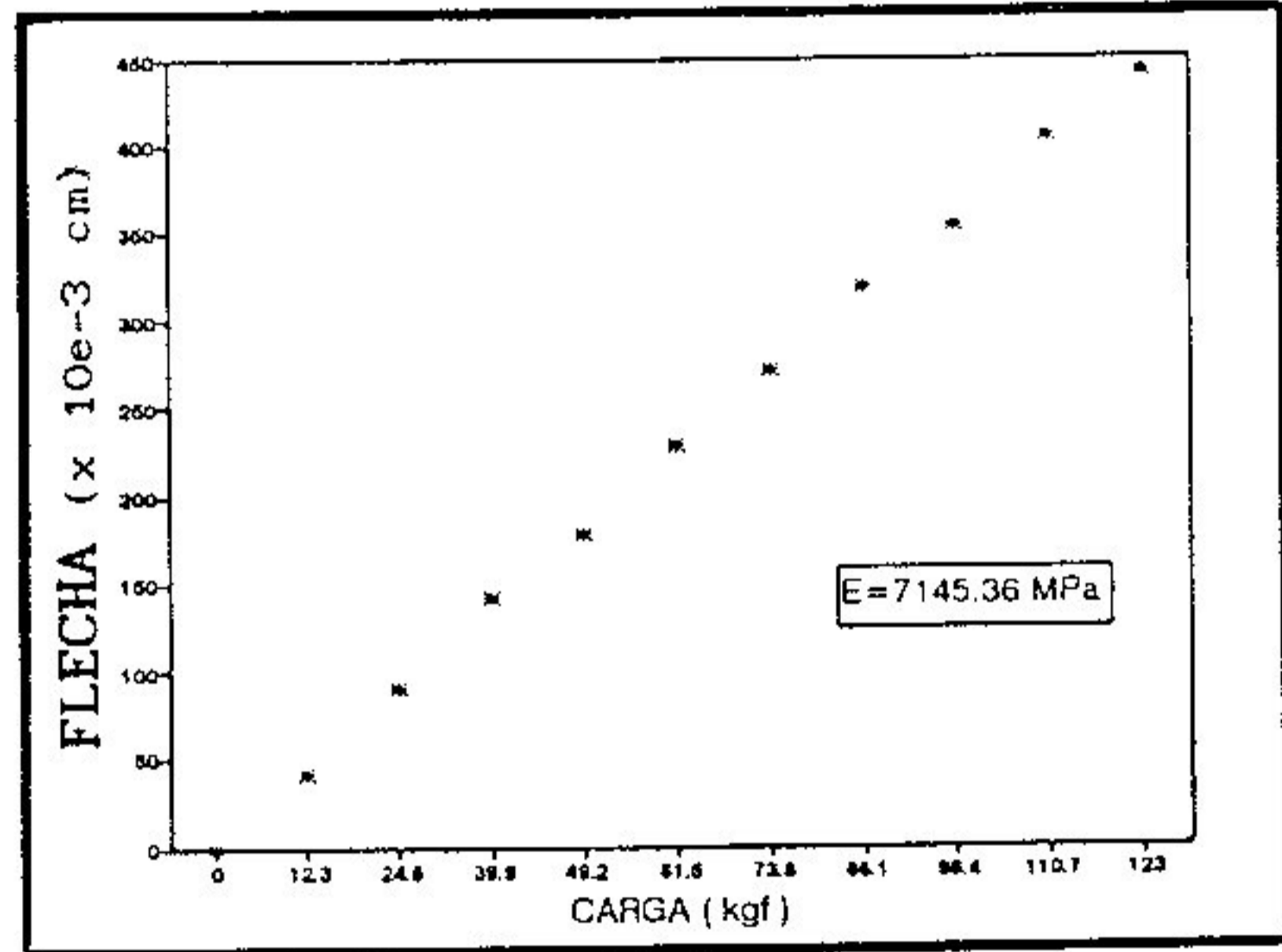
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	35
24.6	81
39.9	123
49.2	162
61.5	212
73.8	250
86.1	293
98.4	322
110.7	371
123	409
135.3	446
147.6	489
159.9	519



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	41
24.6	90
39.9	142
49.2	178
61.5	228
73.8	270
86.1	318
98.4	353
110.7	404
123	442

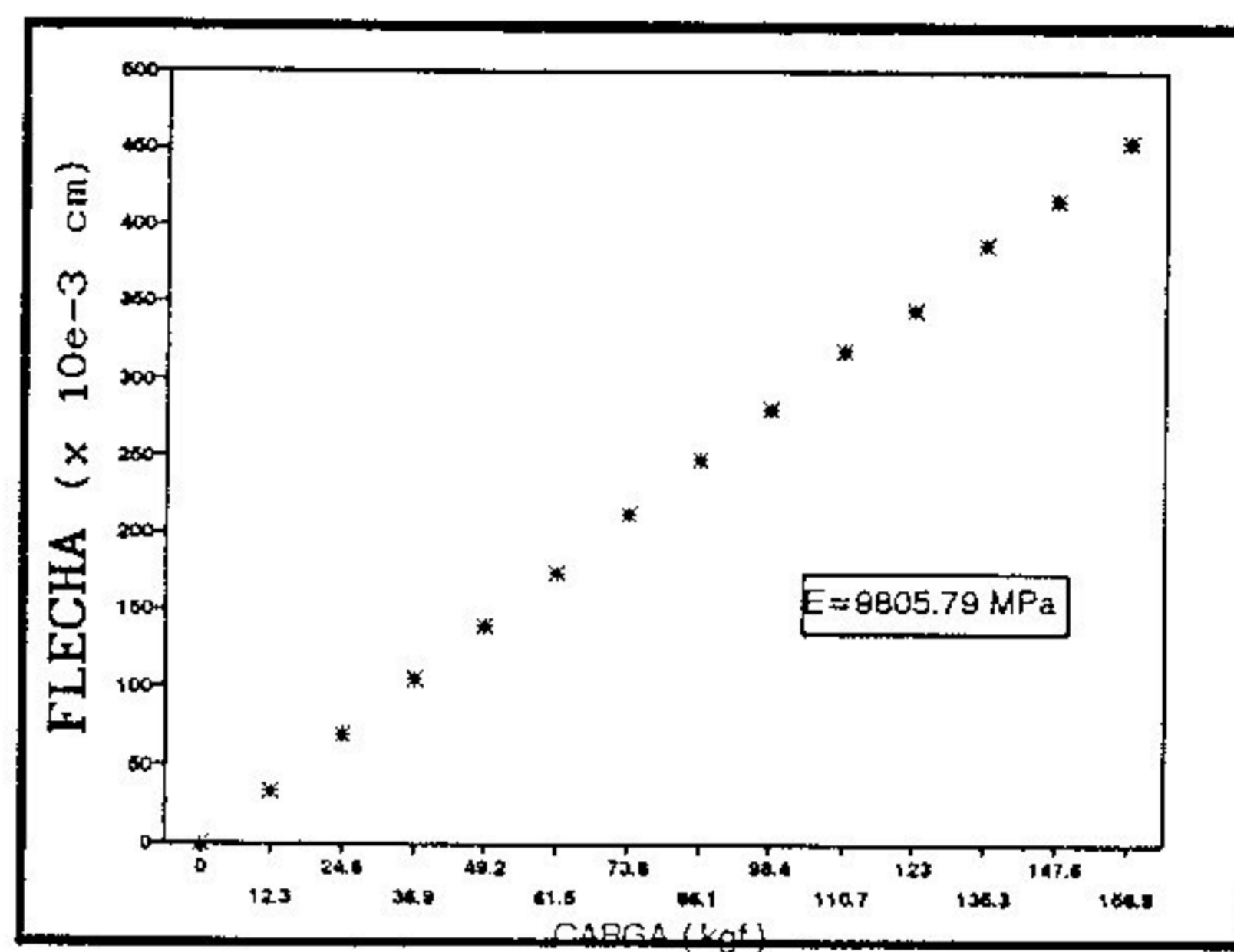


VIGA 3 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

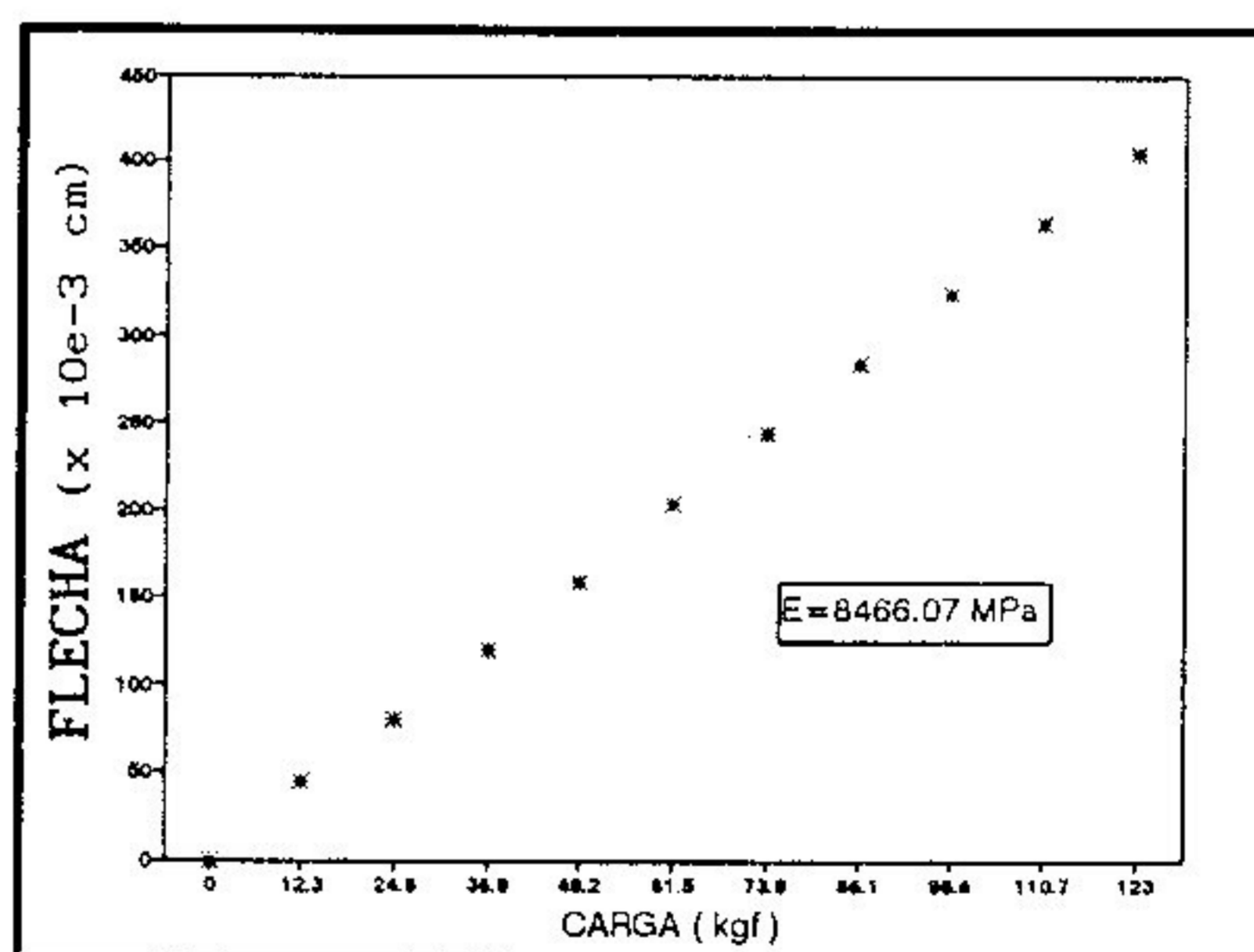
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	33
24.6	69
36.9	105
49.2	139
61.5	173
73.8	212
86.1	247
98.4	280
110.7	318
123	344
135.3	387
147.6	416
159.9	454



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	44
24.6	80
36.9	119
49.2	158
61.5	203
73.8	244
86.1	284
98.4	324
110.7	364
123	405

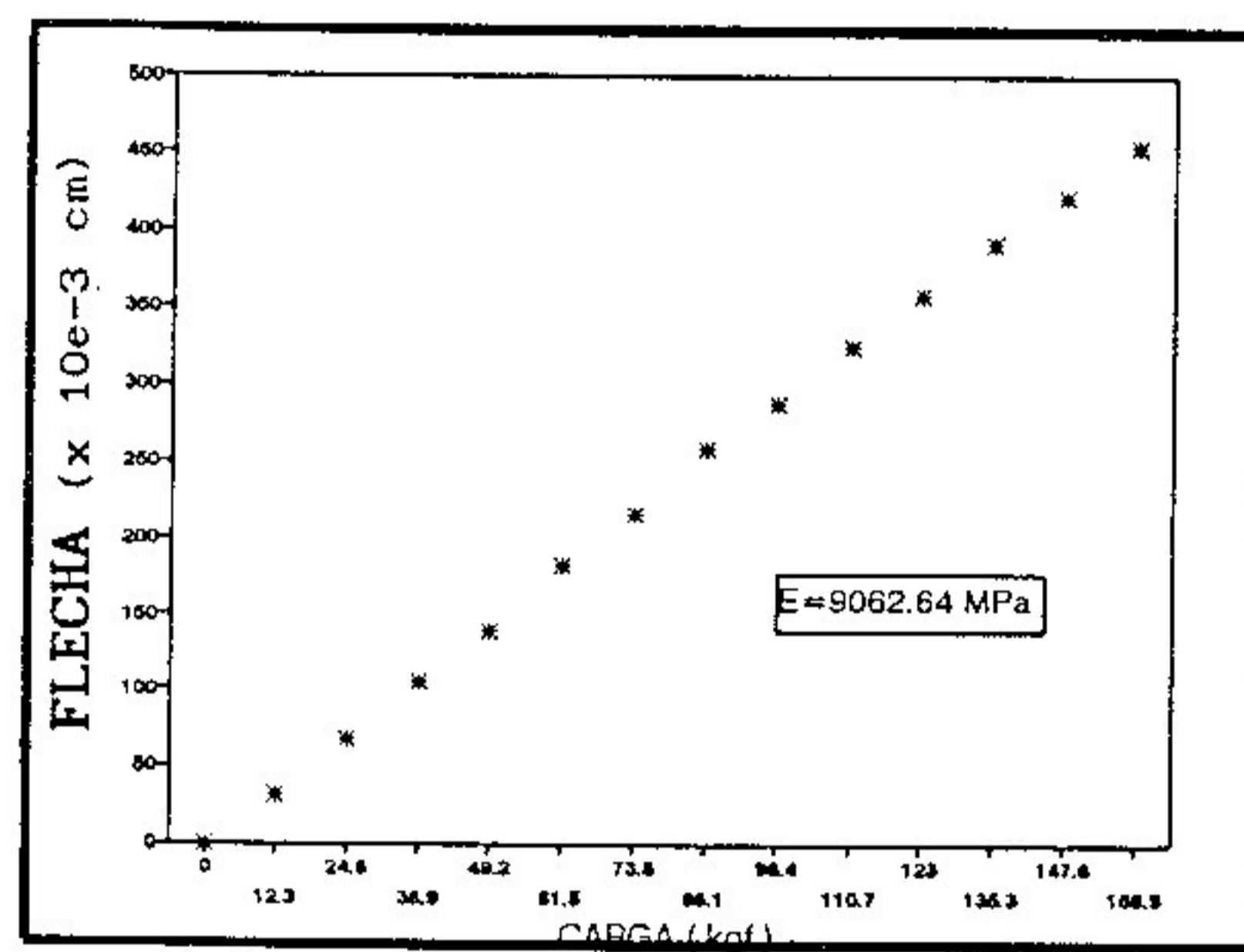


VIGA 3 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

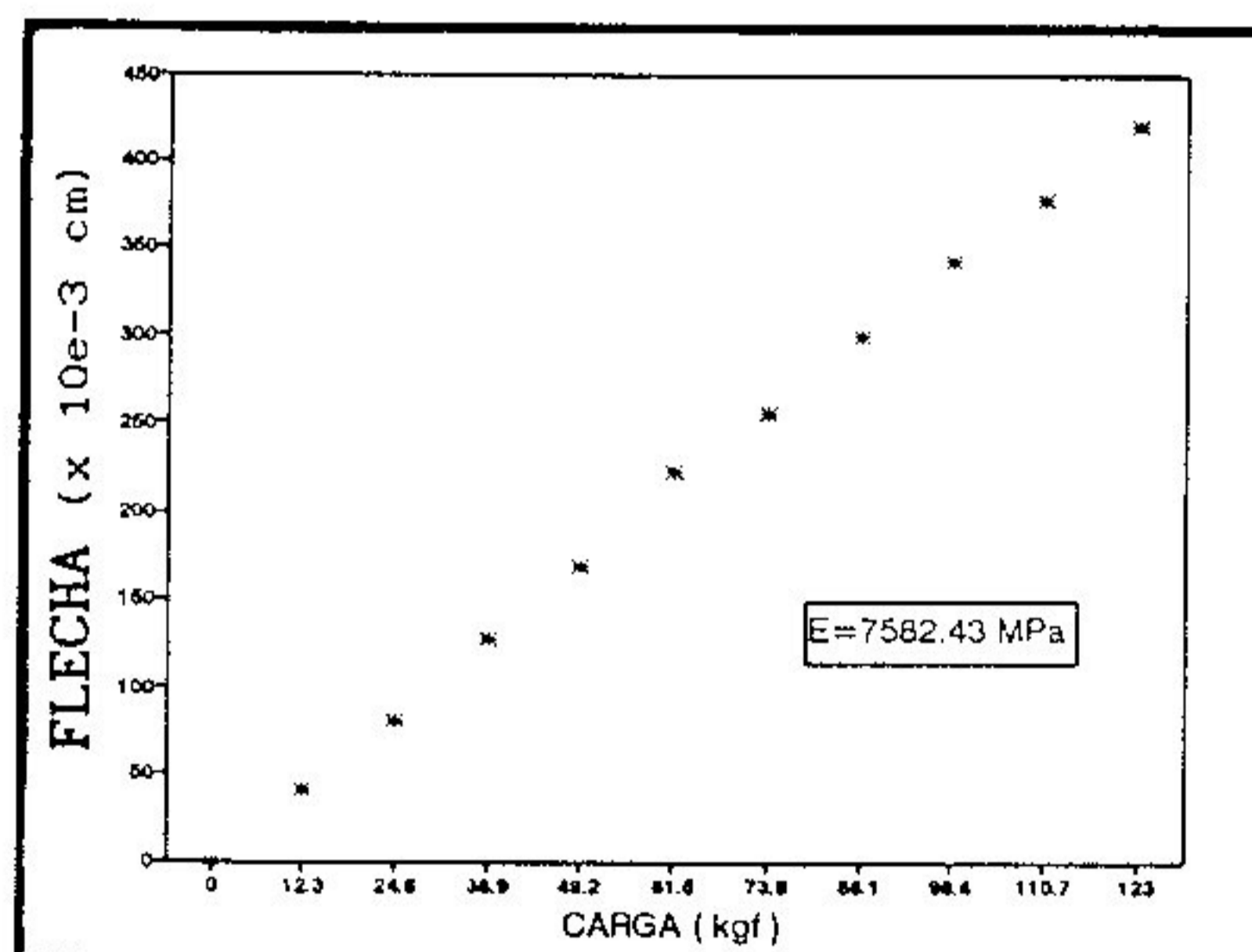
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	31
24.6	67
36.9	105
49.2	138
61.5	181
73.8	215
86.1	258
98.4	287
110.7	324
123	357
135.3	391
147.6	421
159.9	454



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	40
24.6	80
36.9	127
49.2	168
61.5	222
73.8	256
86.1	299
98.4	342
110.7	378
123	420

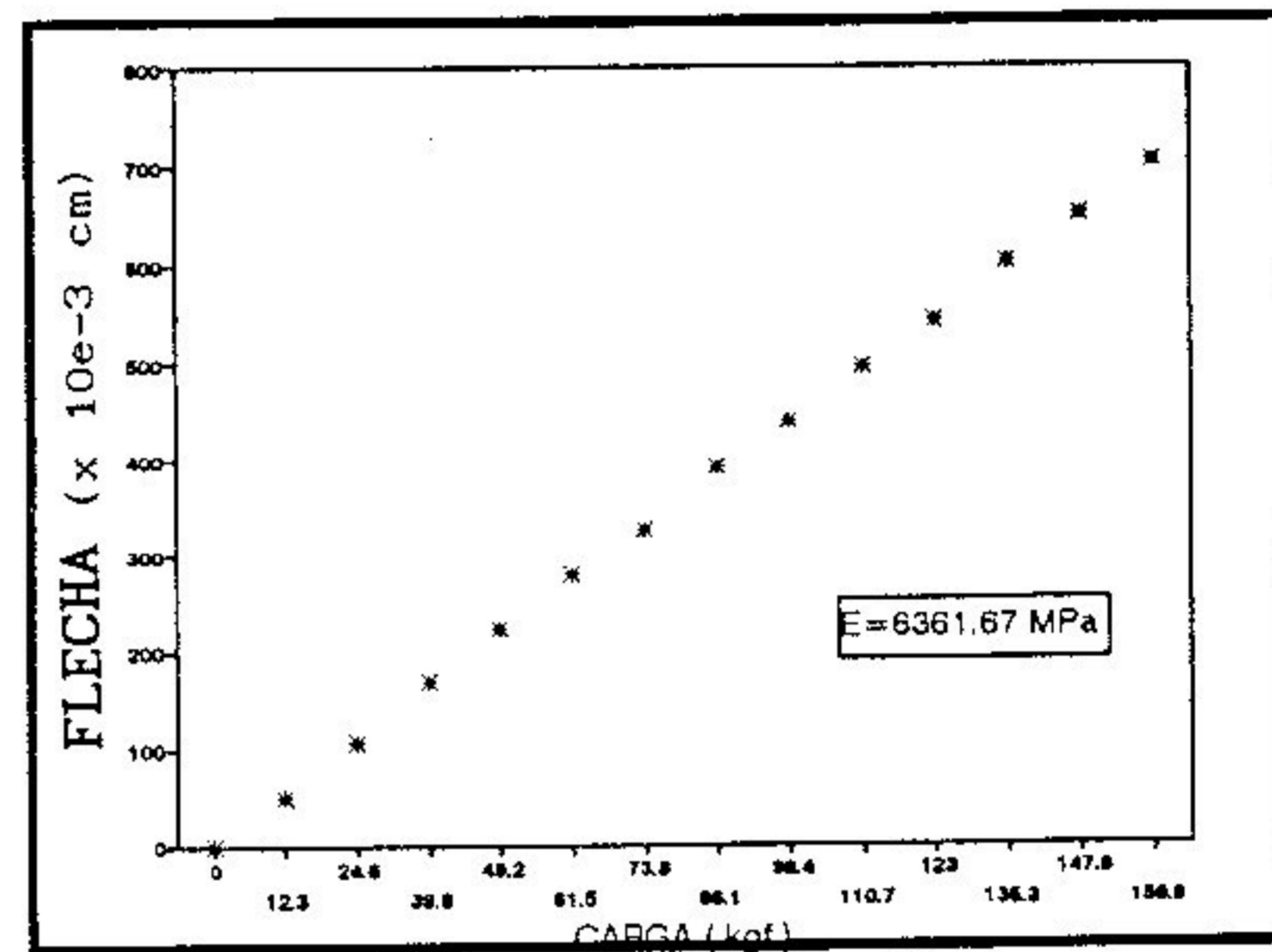


VIGA 5 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	50
24.6	106
39.9	169
49.2	223
61.5	279
73.8	326
86.1	392
98.4	440
110.7	496
123	543
135.3	601
147.6	649
159.9	703

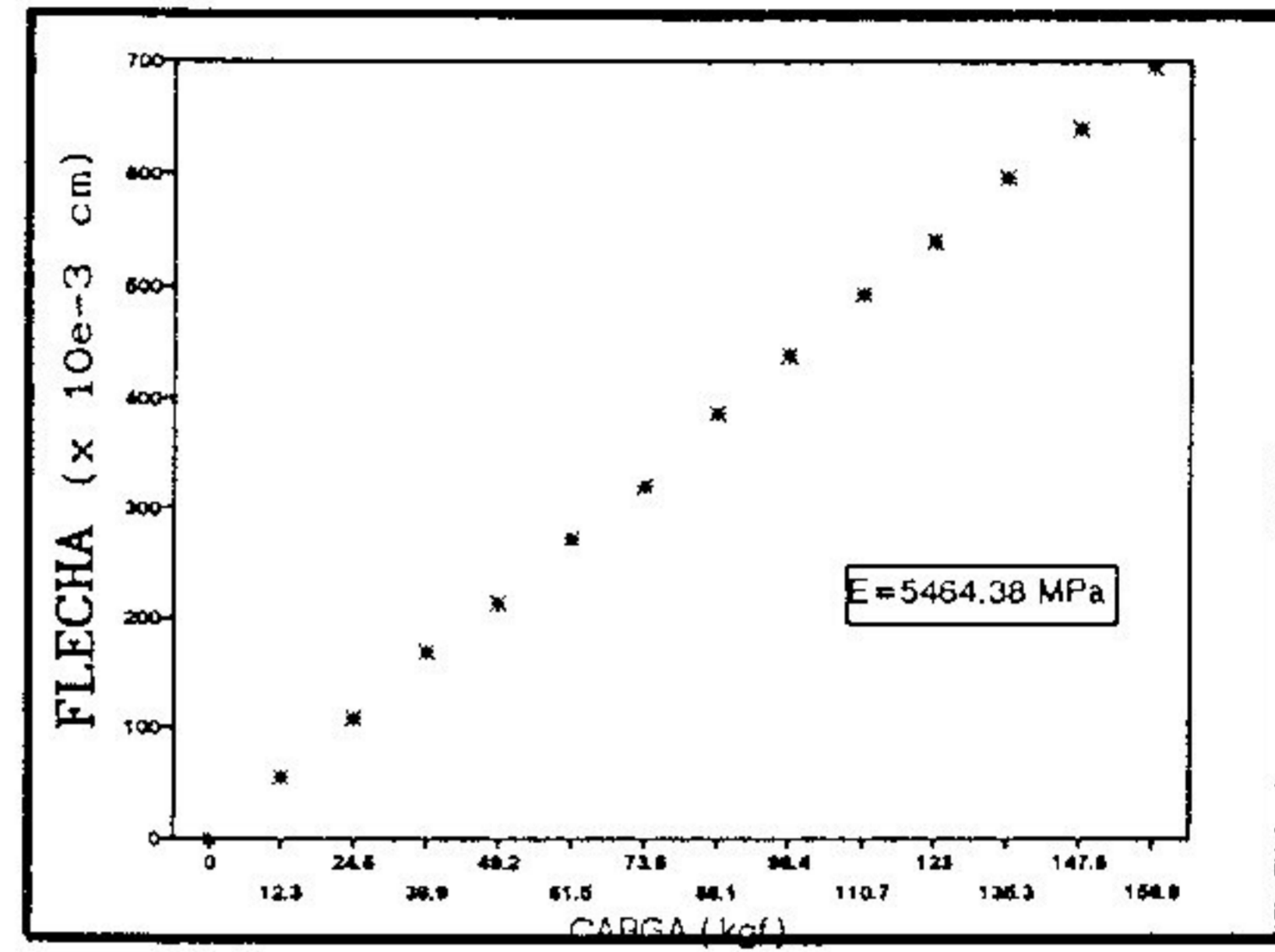


VIGA 5 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	54
24.6	107
39.9	167
49.2	212
61.5	272
73.8	320
86.1	385
98.4	438
110.7	492
123	539
135.3	596
147.6	639
159.9	695

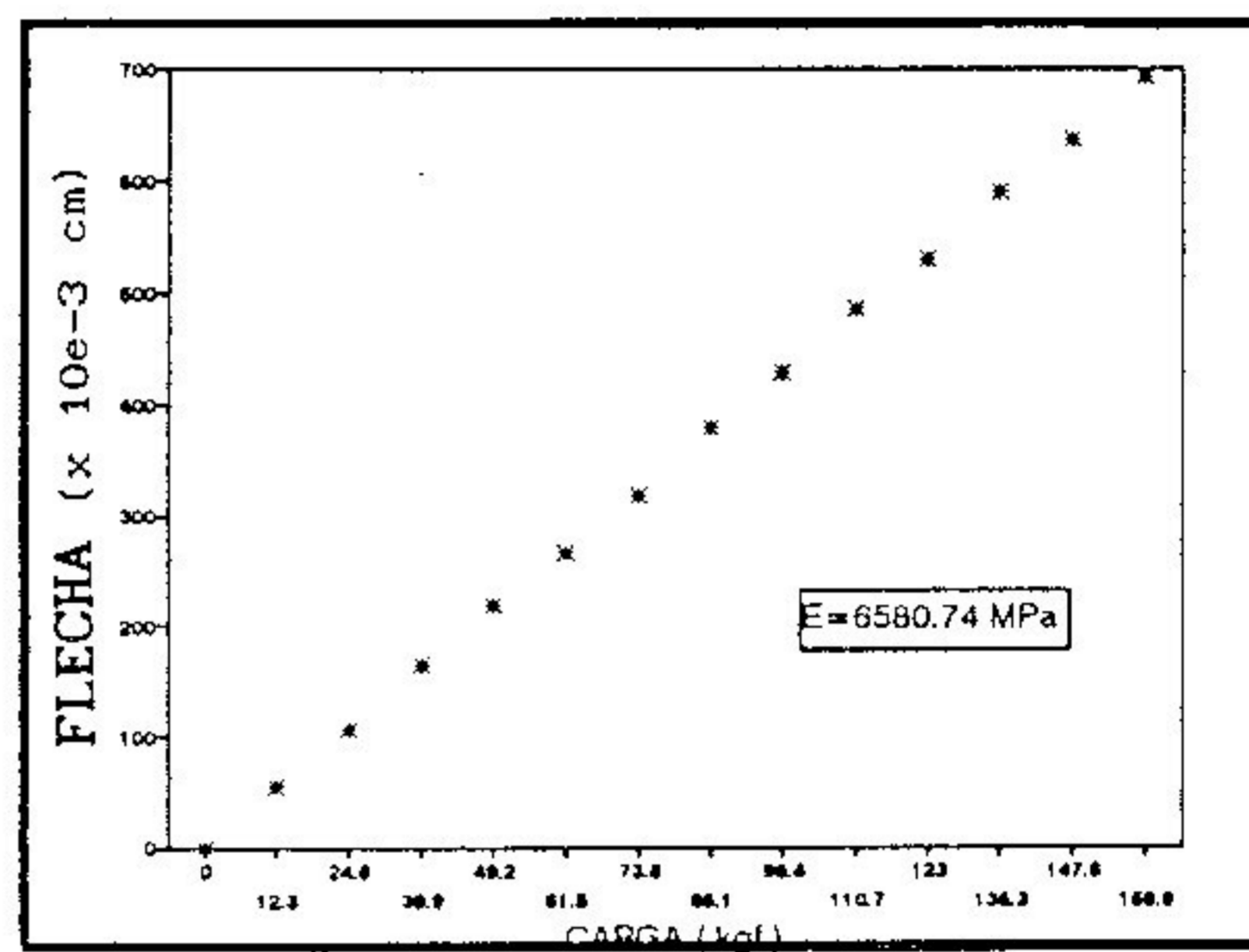


VIGA 6 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

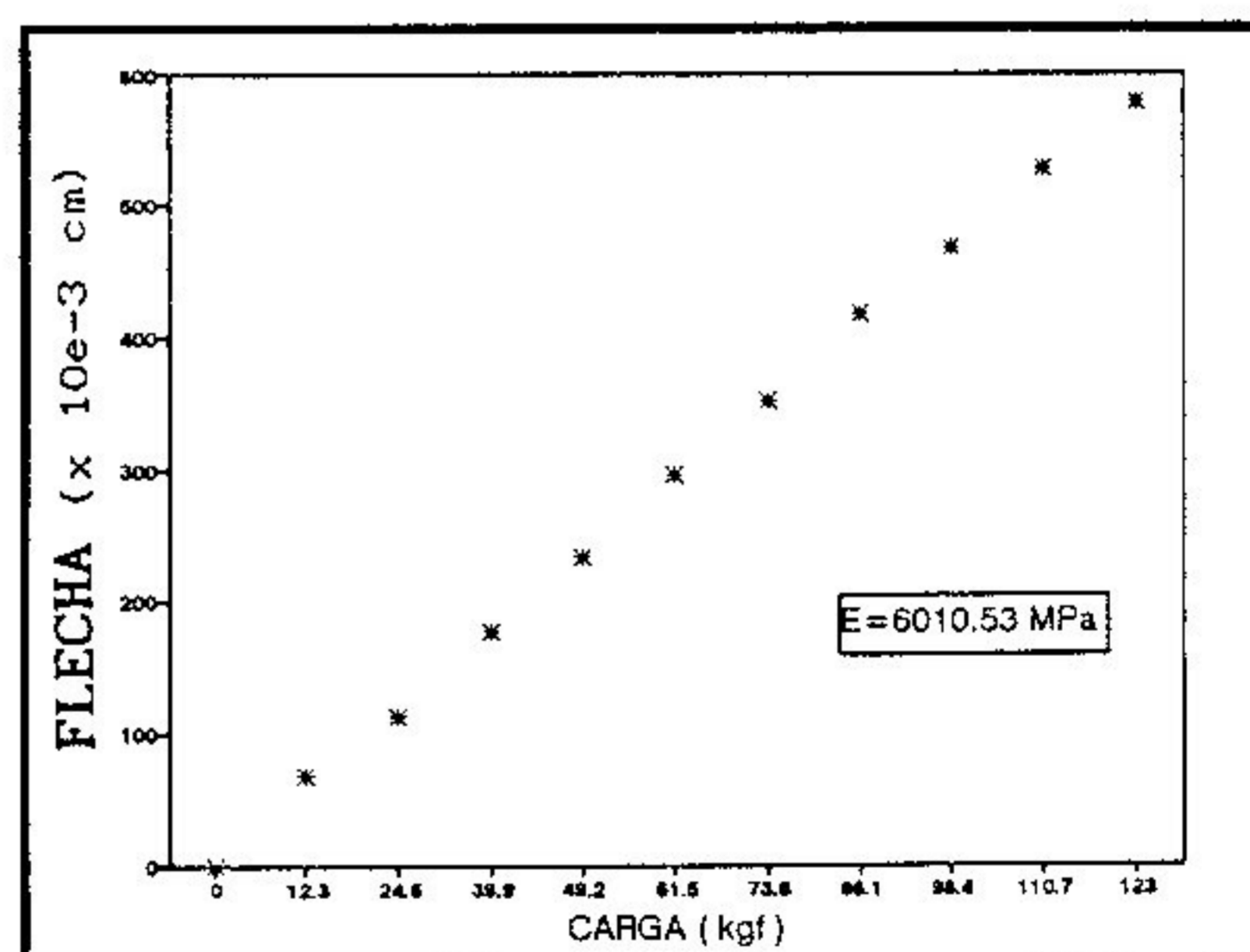
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	54
24.6	106
39.9	164
49.2	217
61.5	266
73.8	317
86.1	379
98.4	429
110.7	485
123	530
135.3	589
147.6	635
159.9	692



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	67
24.6	111
39.9	176
49.2	233
61.5	295
73.8	352
86.1	417
98.4	467
110.7	526
123	578

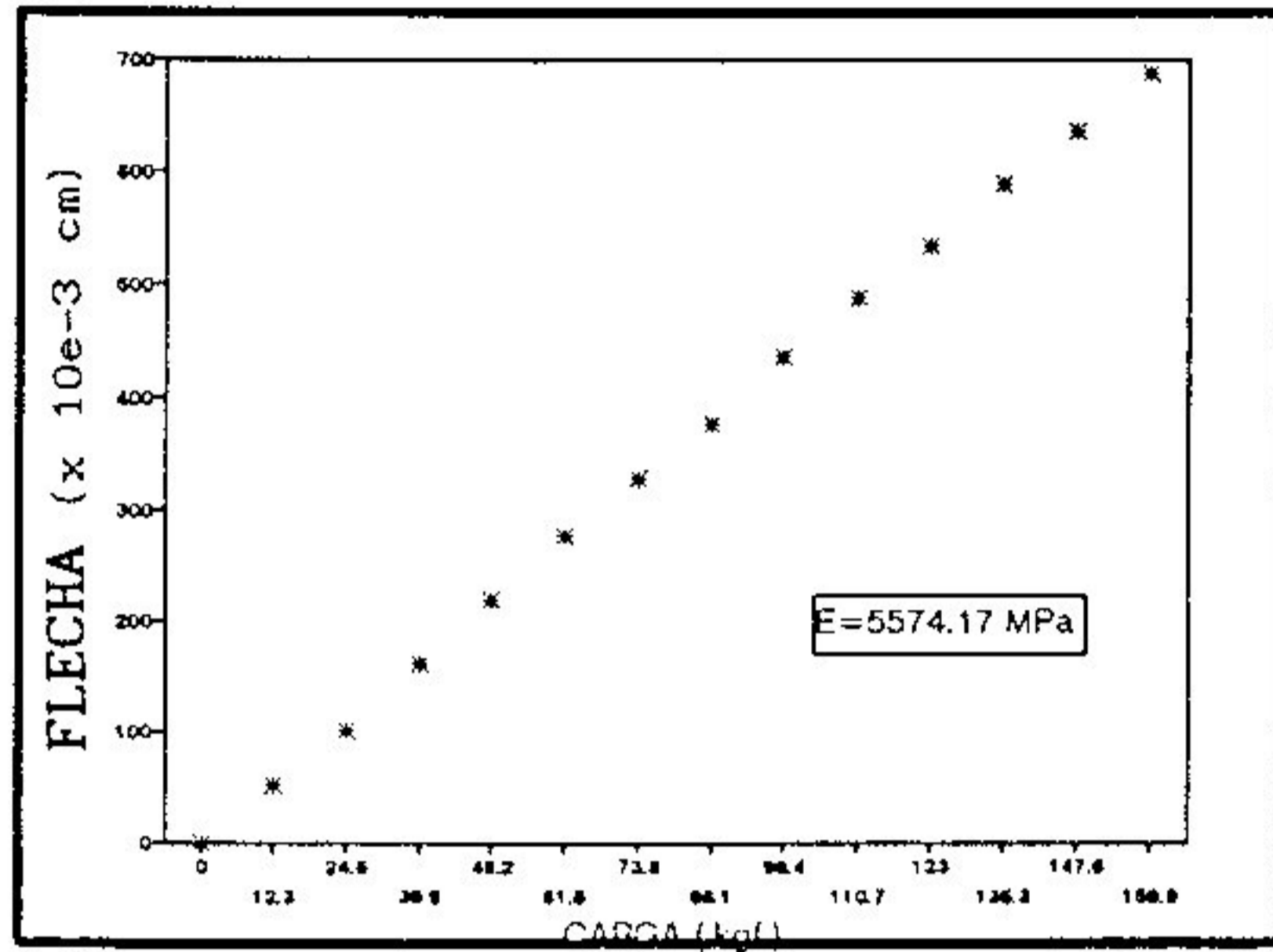


VIGA 6 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

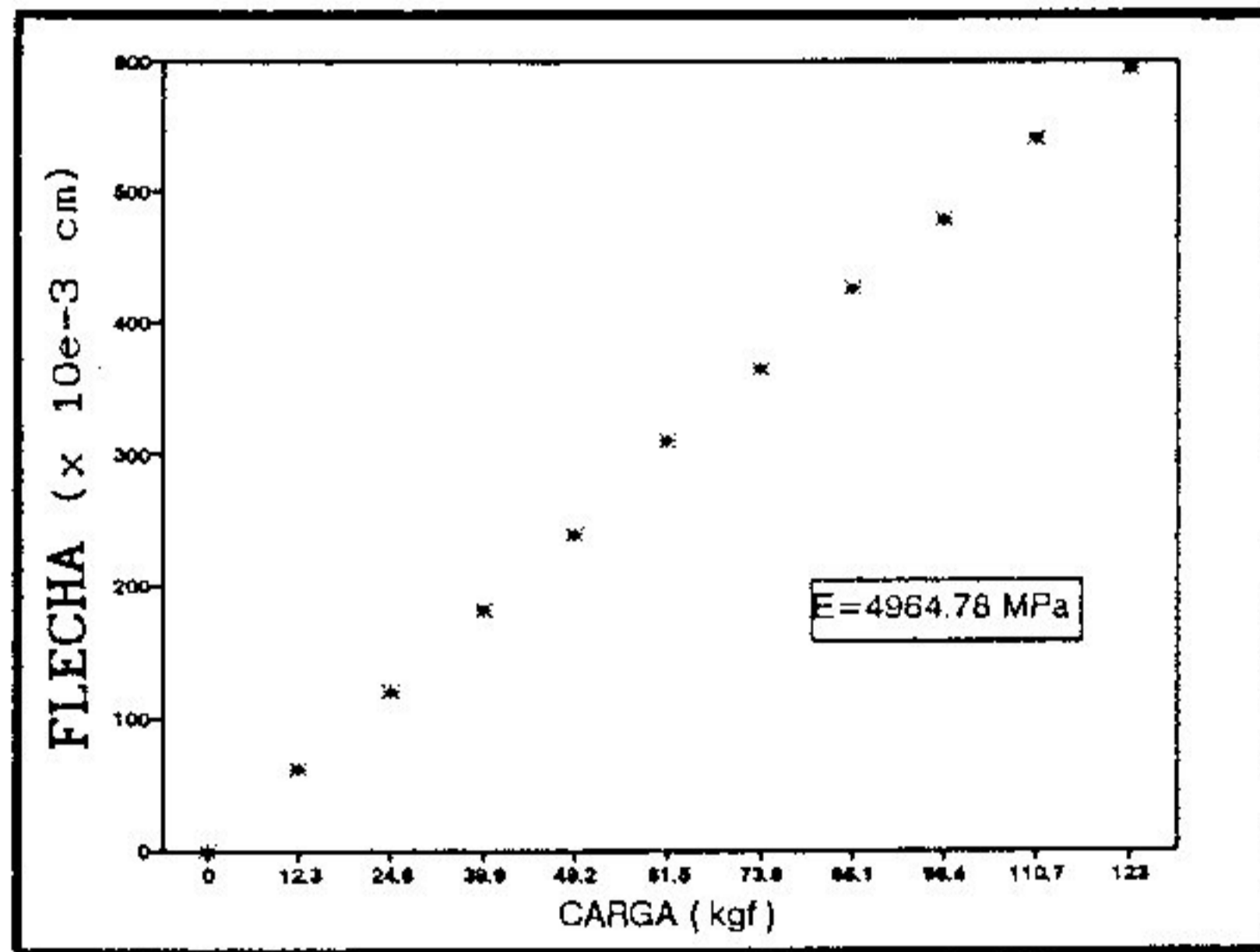
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	50
24.6	100
39.9	160
49.2	219
61.5	276
73.8	328
86.1	377
98.4	436
110.7	487
123	533
135.3	588
147.6	636
159.9	687



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	62
24.6	120
39.9	182
49.2	239
61.5	309
73.8	365
86.1	425
98.4	479
110.7	541
123	595

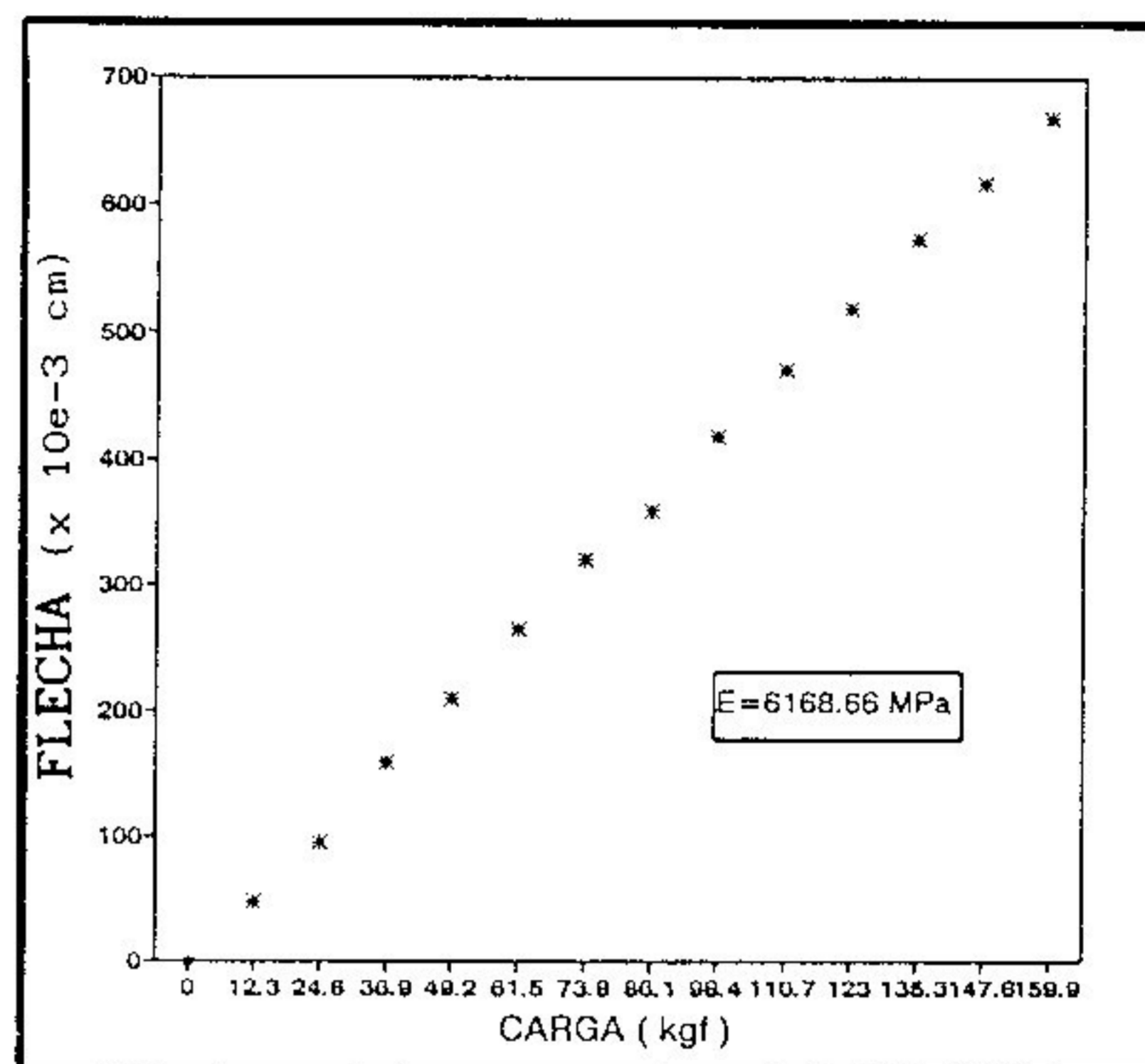


VIGA 7 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

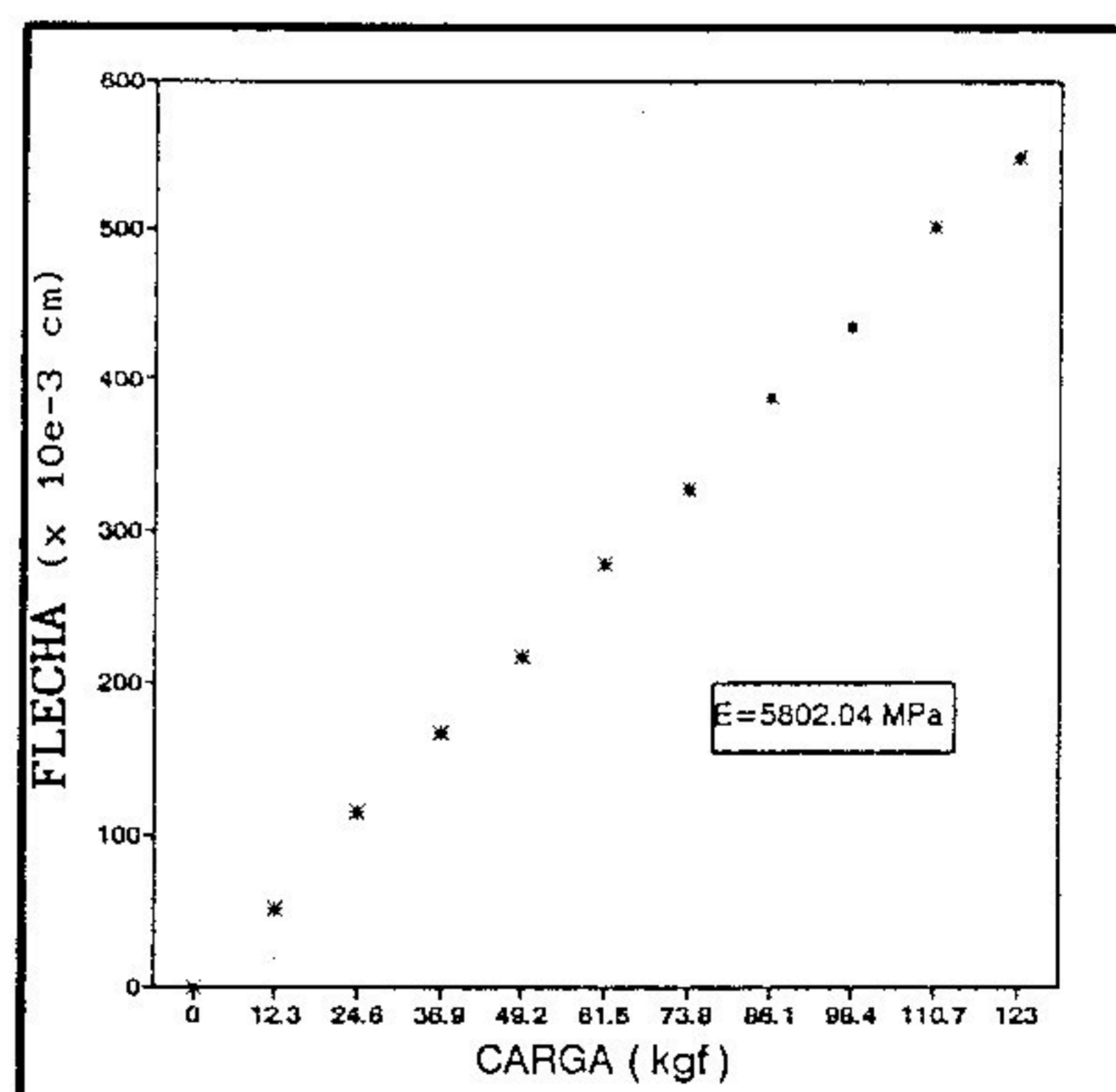
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	47
24.6	95
36.9	158
49.2	210
61.5	264
73.8	320
86.1	358
98.4	418
110.7	470
123	519
135.3	573
147.6	617
159.9	668



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	51
24.6	115
36.9	167
49.2	217
61.5	278
73.8	327
86.1	388
98.4	435
110.7	502
123	549

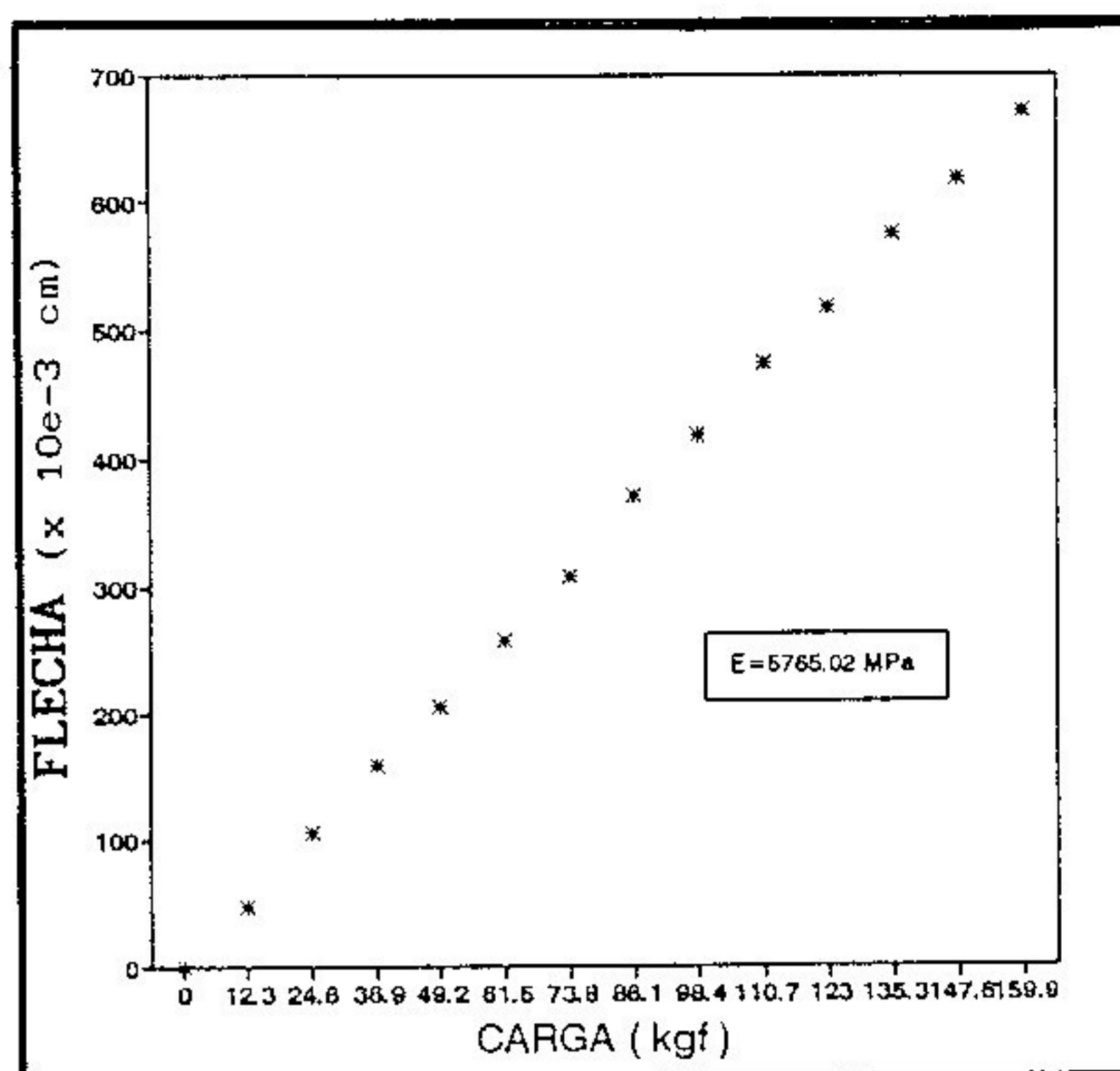


VIGA 7 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

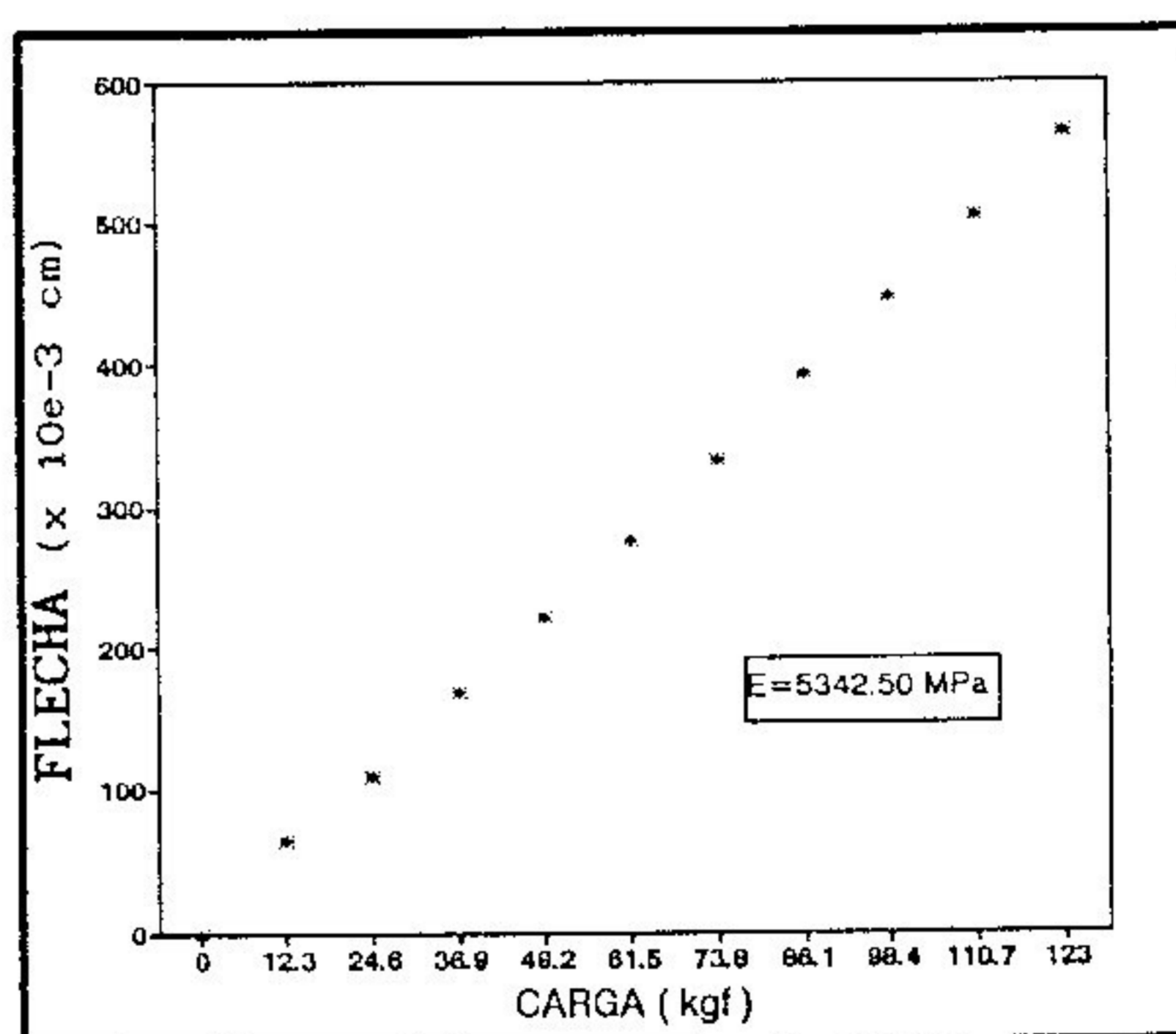
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	47
24.6	105
36.9	159
49.2	205
61.5	258
73.8	309
86.1	371
98.4	418
110.7	473
123	517
135.3	574
147.6	618
159.9	671



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	63
24.6	108
36.9	168
49.2	221
61.5	276
73.8	332
86.1	393
98.4	447
110.7	504
123	563

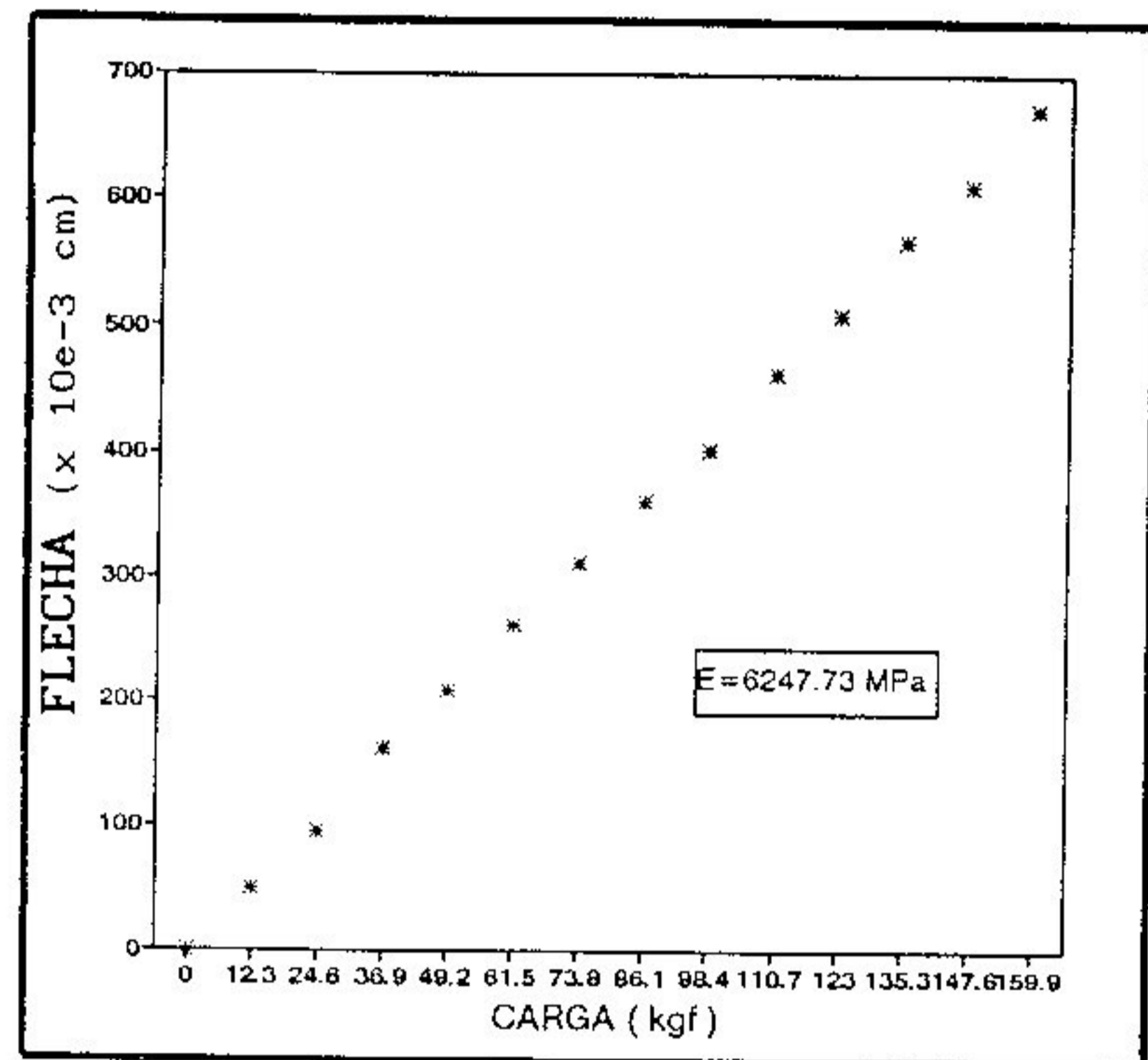


VIGA 8 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

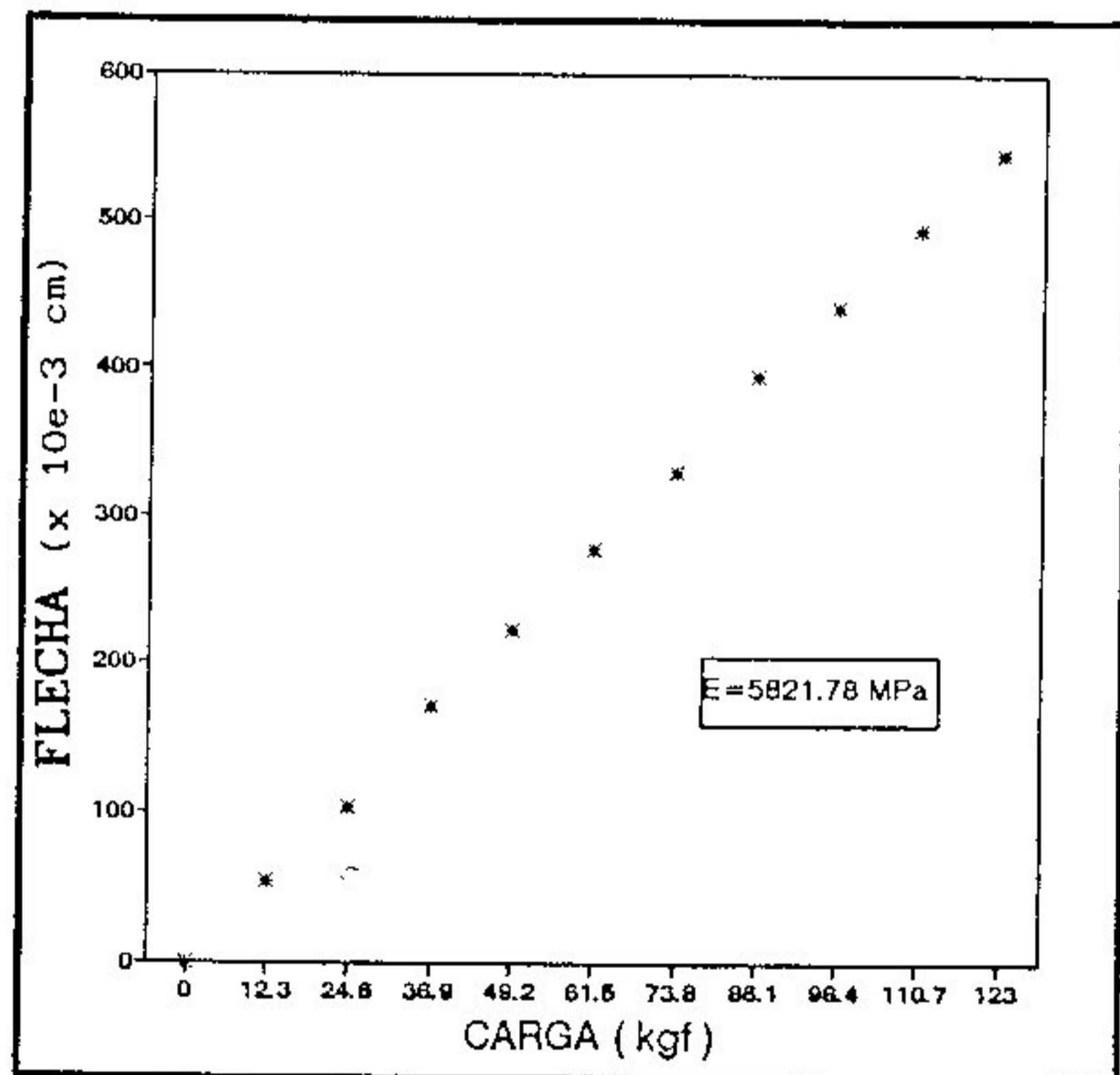
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	49
24.6	95
36.9	161
49.2	207
61.5	261
73.8	310
86.1	360
98.4	401
110.7	462
123	508
135.3	567
147.6	610
159.9	672



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	54
24.6	103
36.9	170
49.2	222
61.5	277
73.8	330
86.1	394
98.4	441
110.7	494
123	545

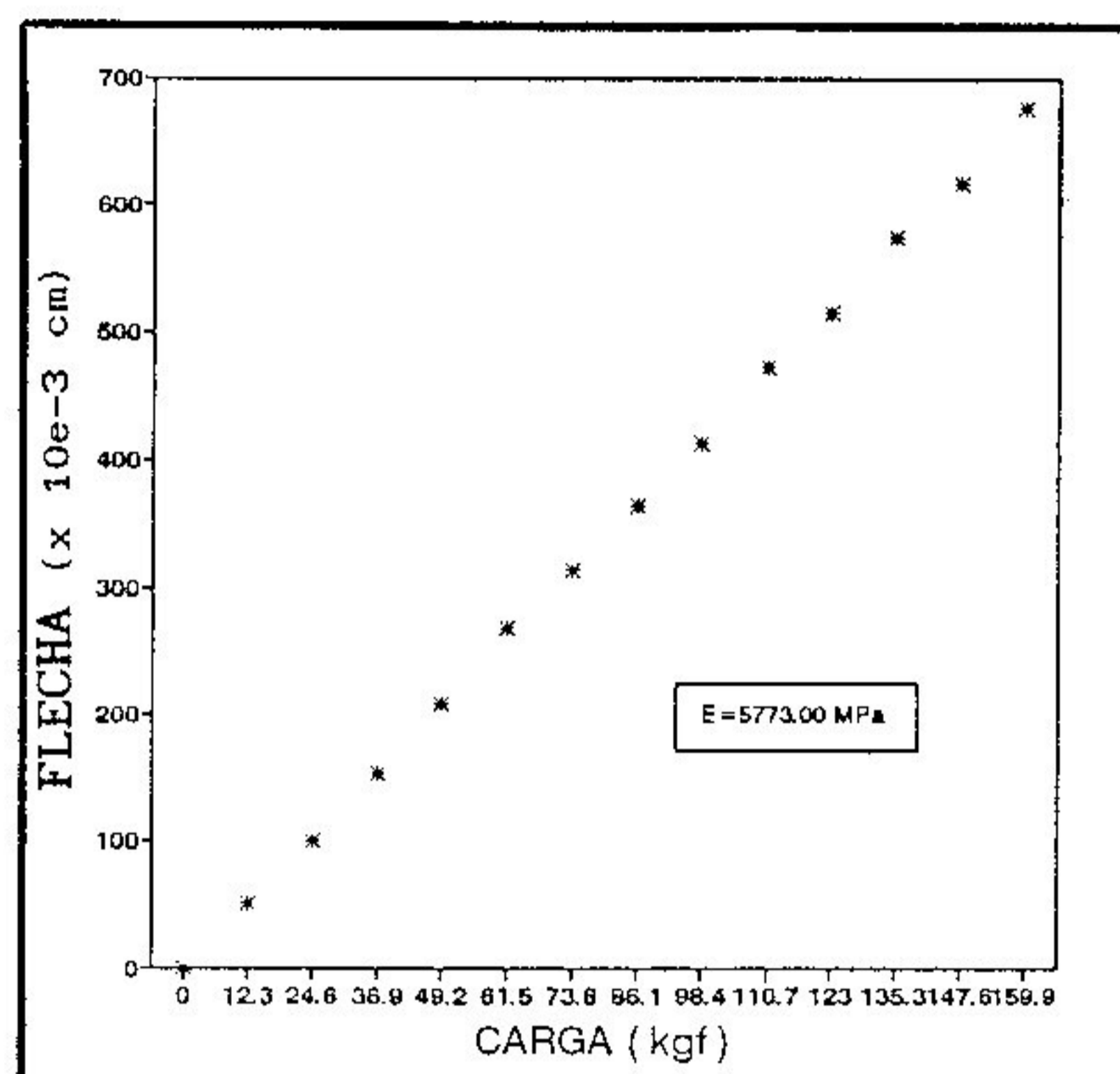


VIGA 8 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

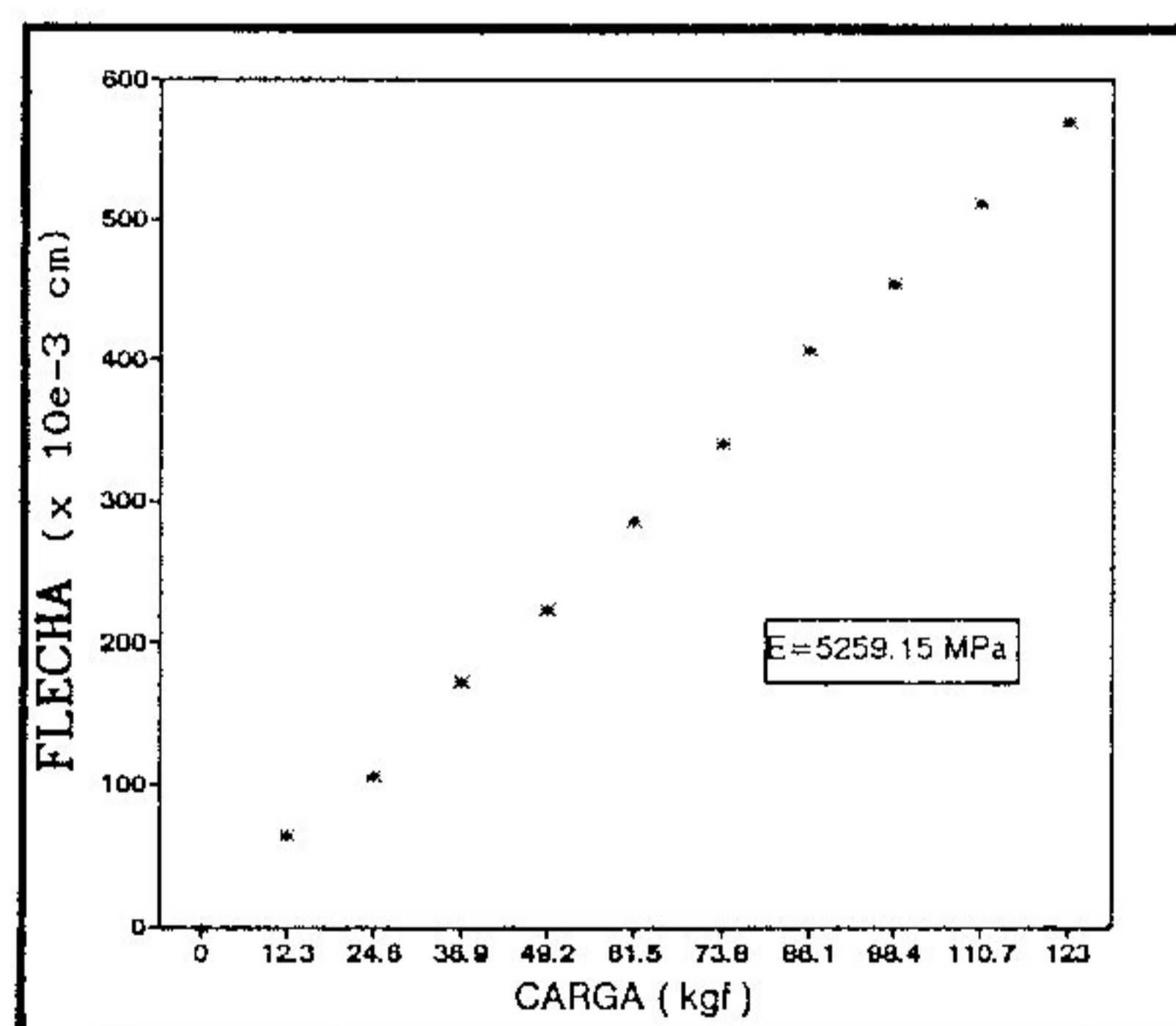
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	50
24.6	99
36.9	153
49.2	208
61.5	269
73.8	314
86.1	364
98.4	413
110.7	472
123	514
135.3	573
147.6	616
159.9	677



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	63
24.6	106
36.9	173
49.2	223
61.5	286
73.8	339
86.1	406
98.4	454
110.7	512
123	569

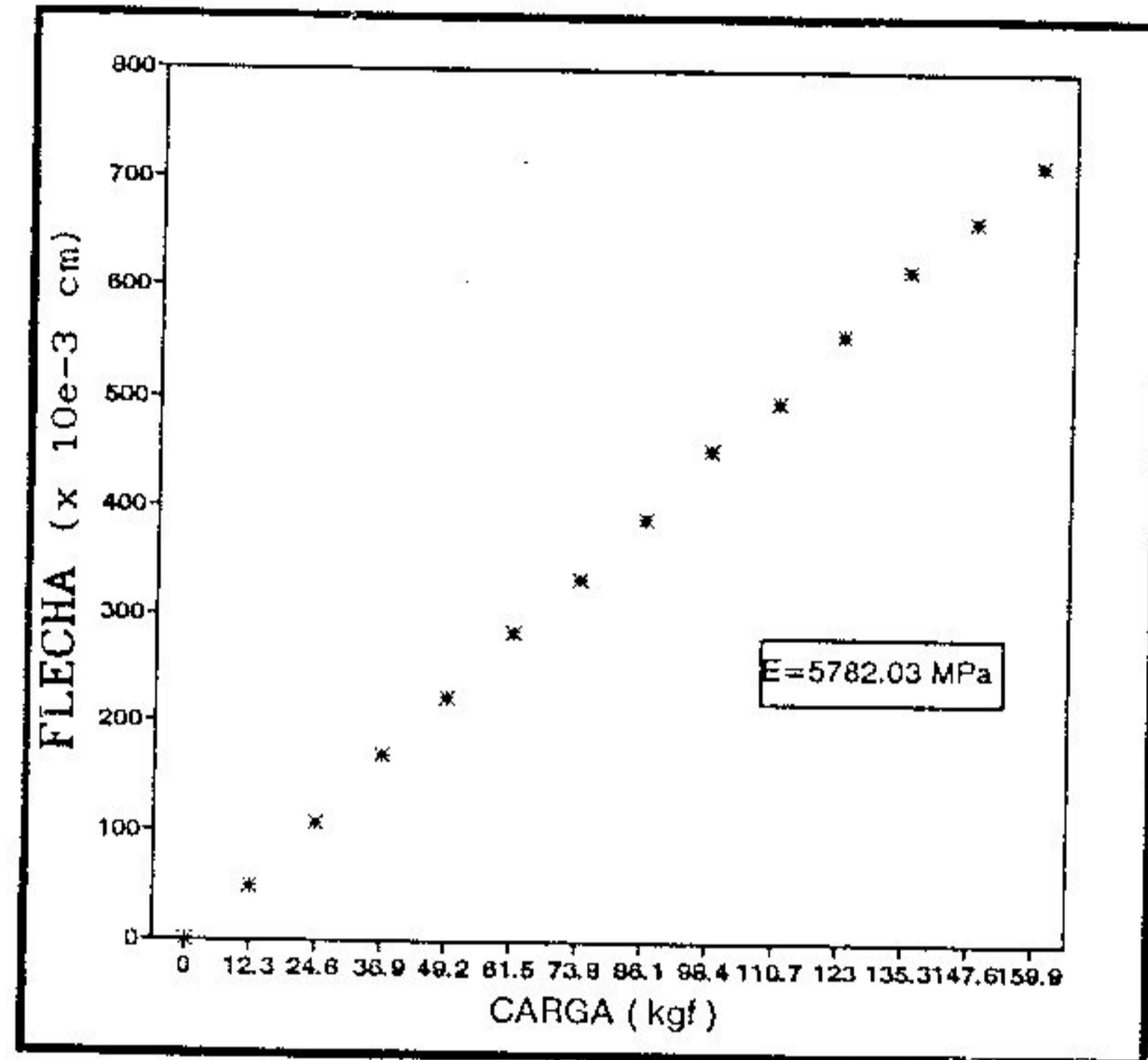


VIGA 9 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

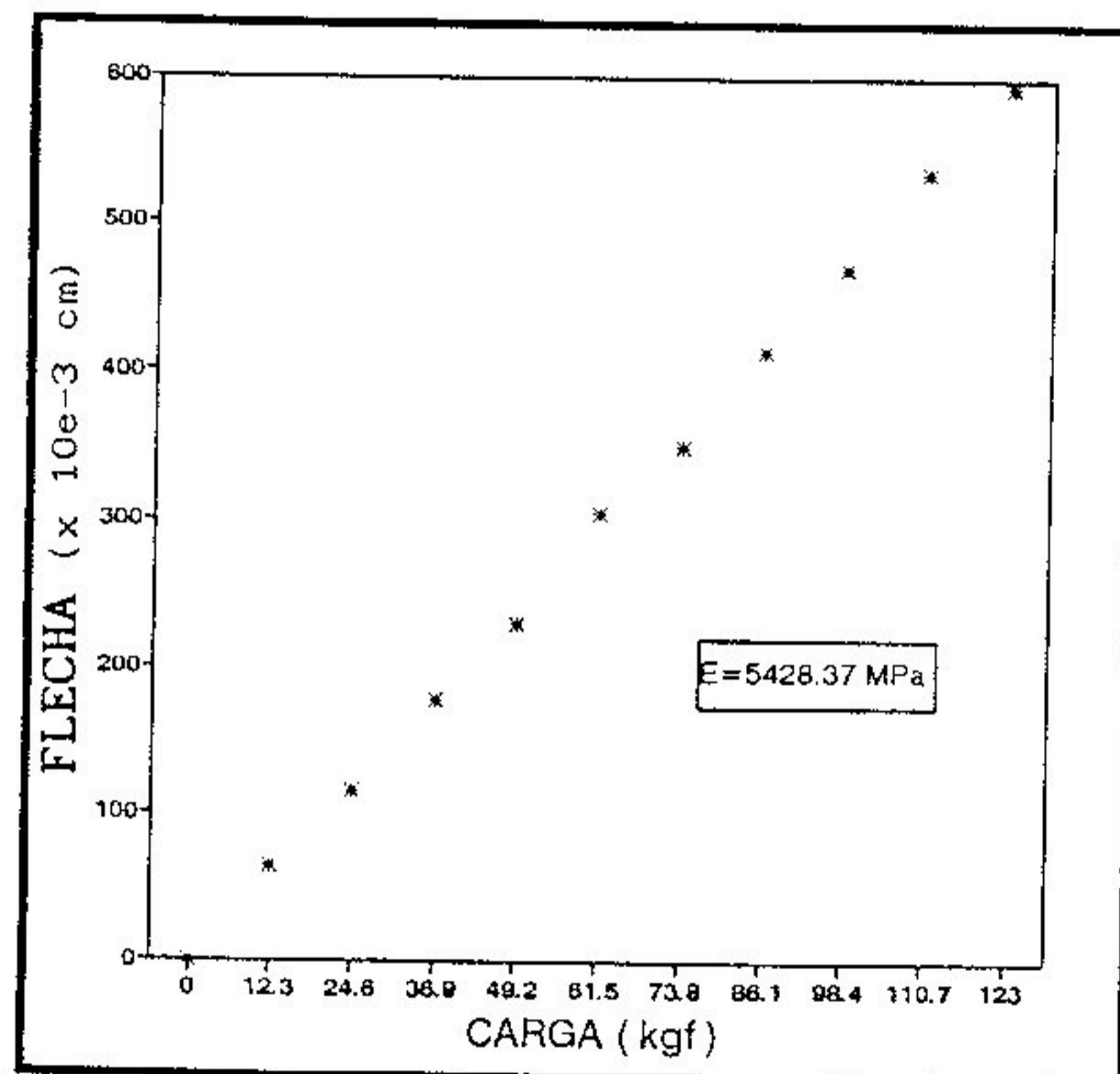
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	48
24.6	107
36.9	169
49.2	223
61.5	283
73.8	333
86.1	389
98.4	452
110.7	496
123	558
135.3	616
147.6	662
159.9	713



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	64
24.6	116
36.9	178
49.2	230
61.5	305
73.8	350
86.1	414
98.4	469
110.7	535
123	594

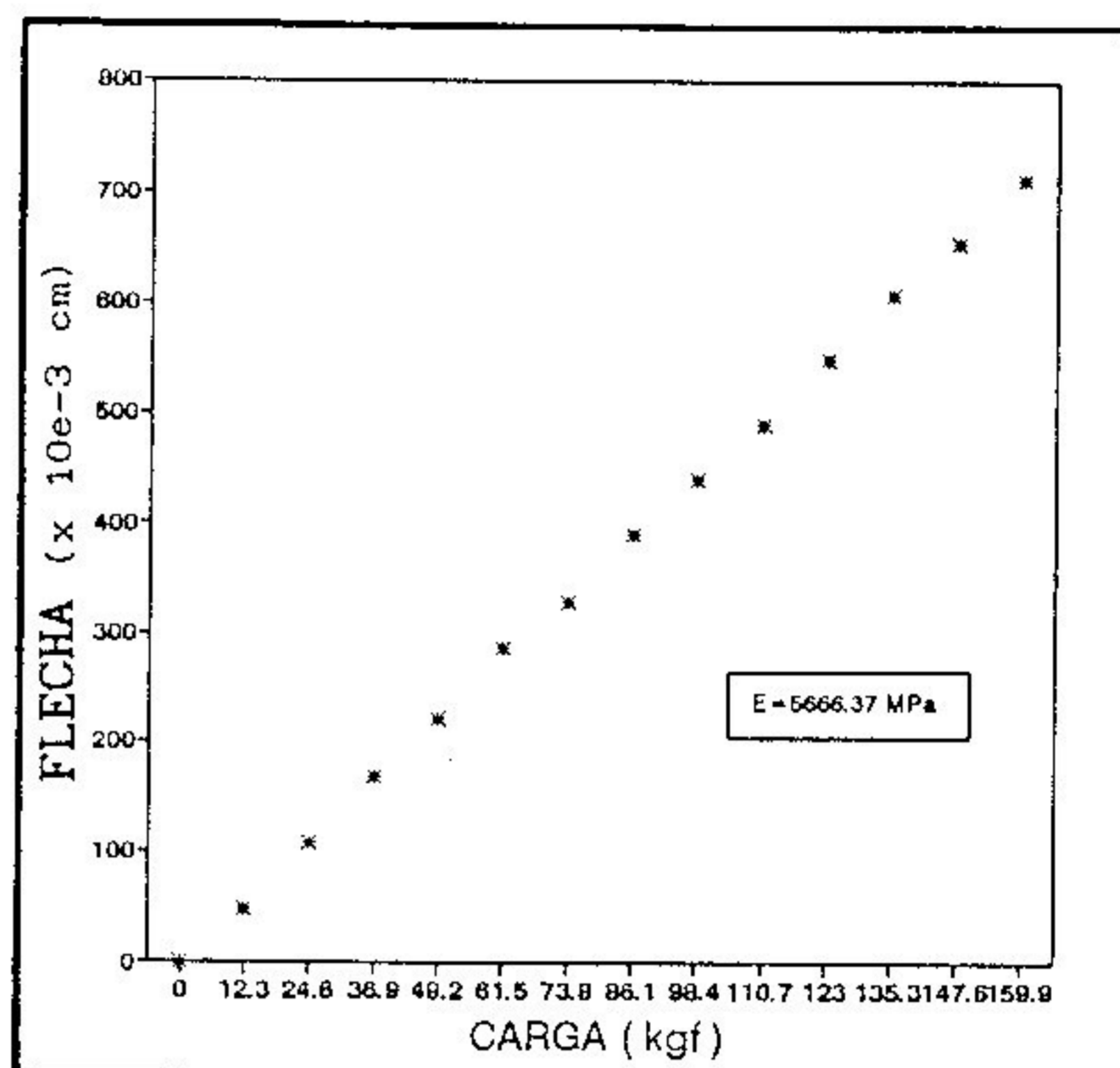


VIGA 9 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

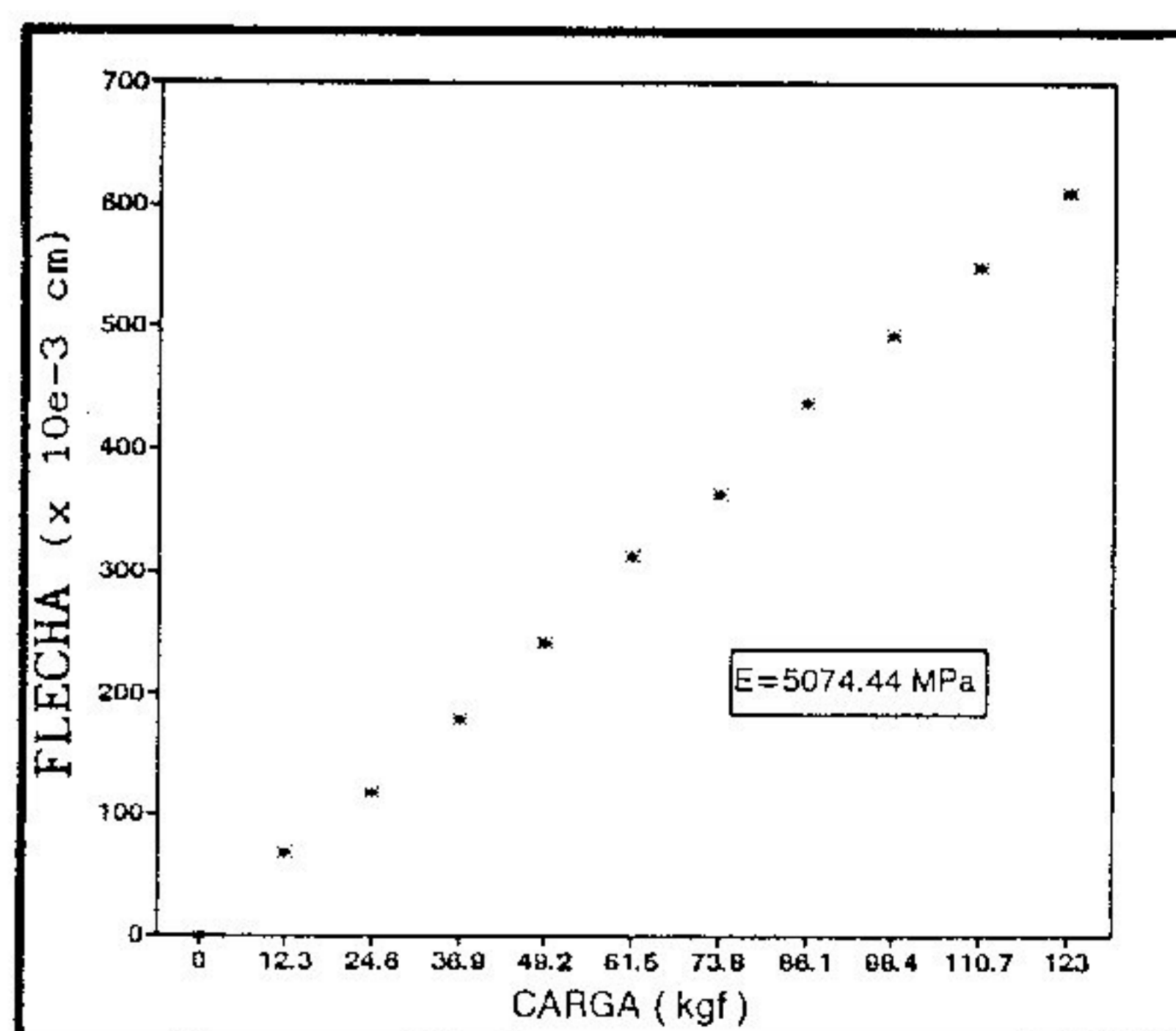
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	48
24.6	107
36.9	167
49.2	220
61.5	286
73.8	329
86.1	391
98.4	440
110.7	489
123	549
135.3	608
147.6	654
159.9	712



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	68
24.6	118
36.9	178
49.2	242
61.5	313
73.8	363
86.1	438
98.4	493
110.7	549
123	610

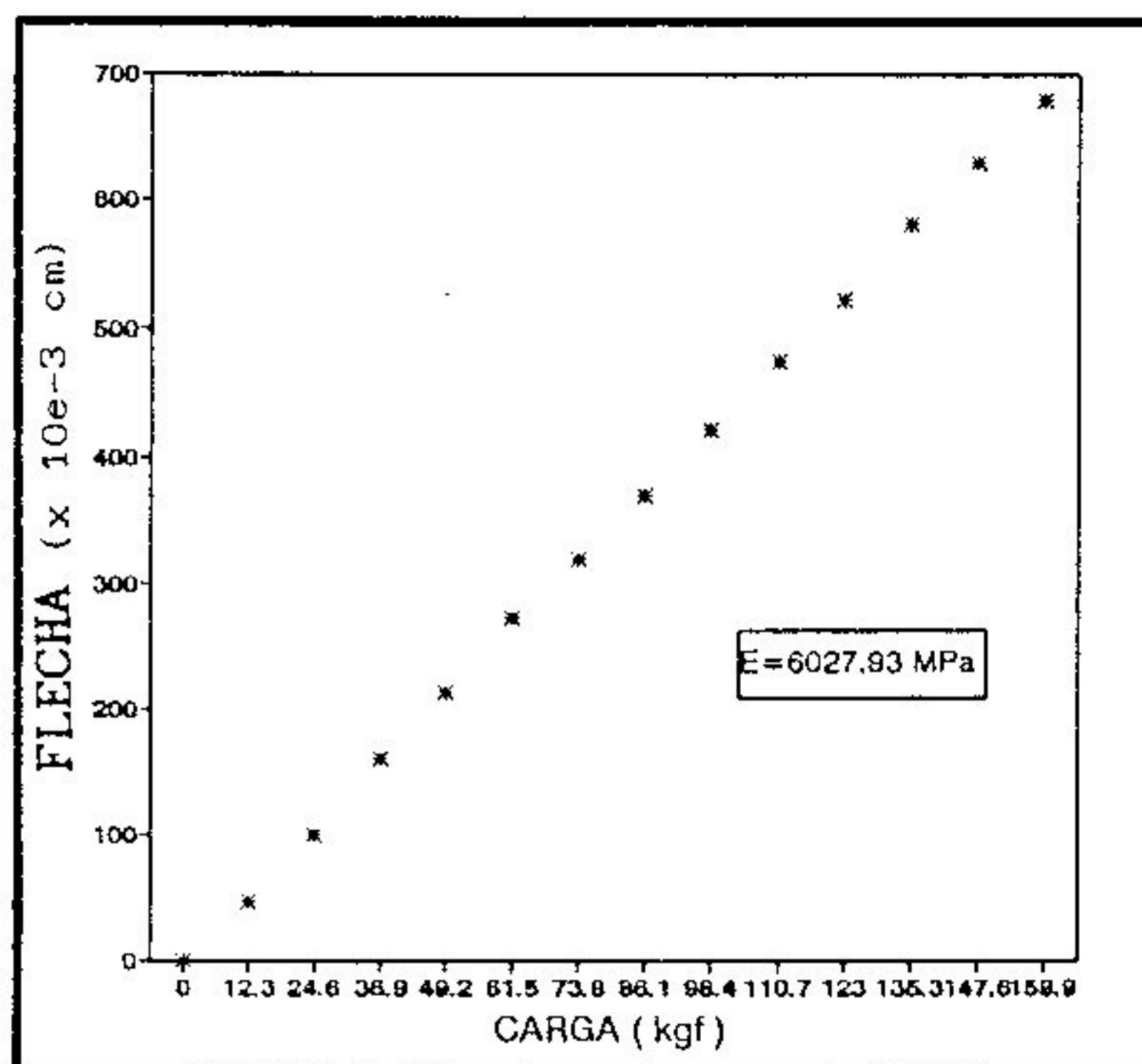


VIGA 10 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

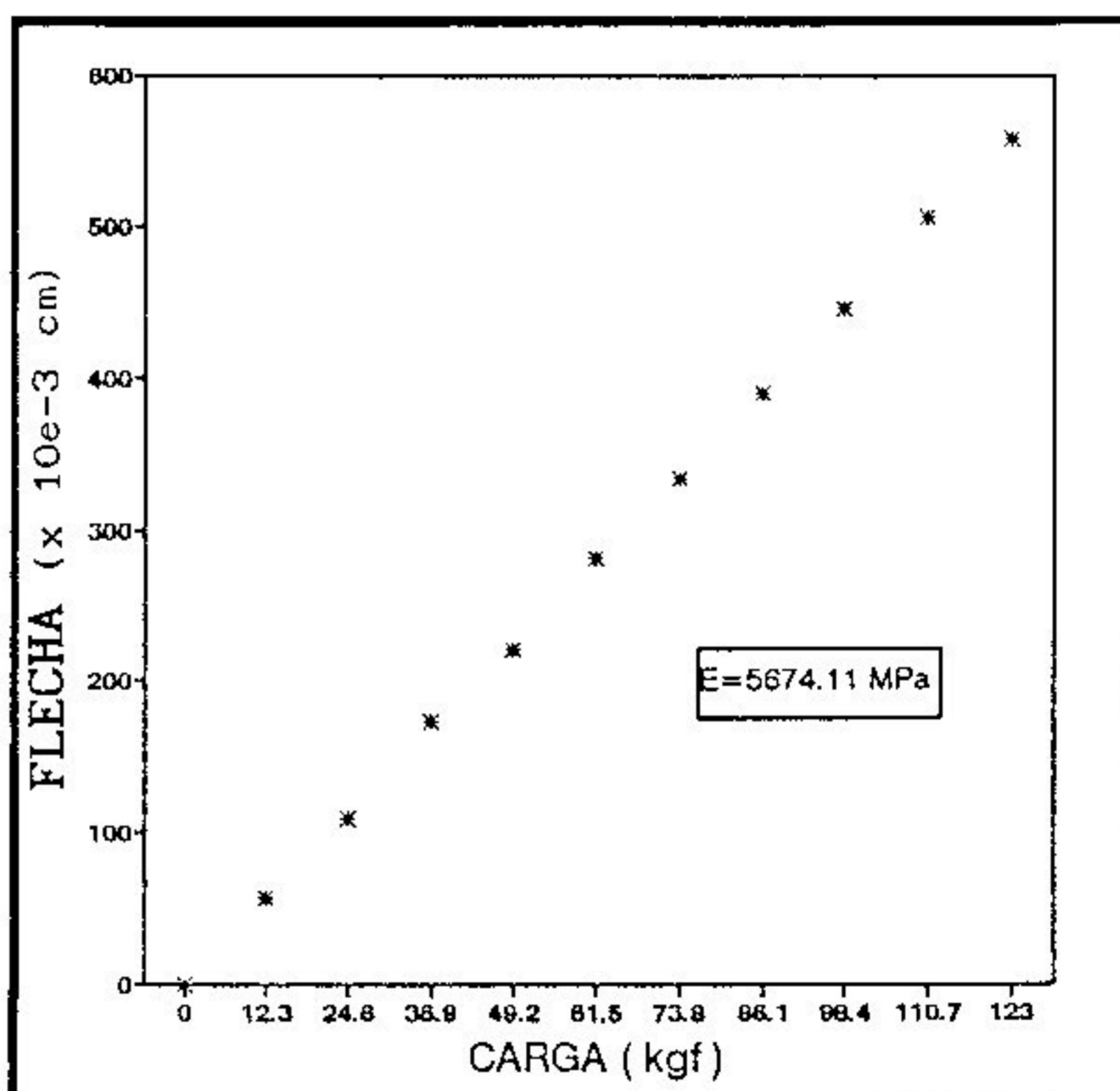
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	45
24.6	99
36.9	159
49.2	213
61.5	272
73.8	318
86.1	369
98.4	420
110.7	474
123	522
135.3	581
147.6	628
159.9	679



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	56
24.6	109
36.9	173
49.2	221
61.5	281
73.8	334
86.1	389
98.4	446
110.7	506
123	558

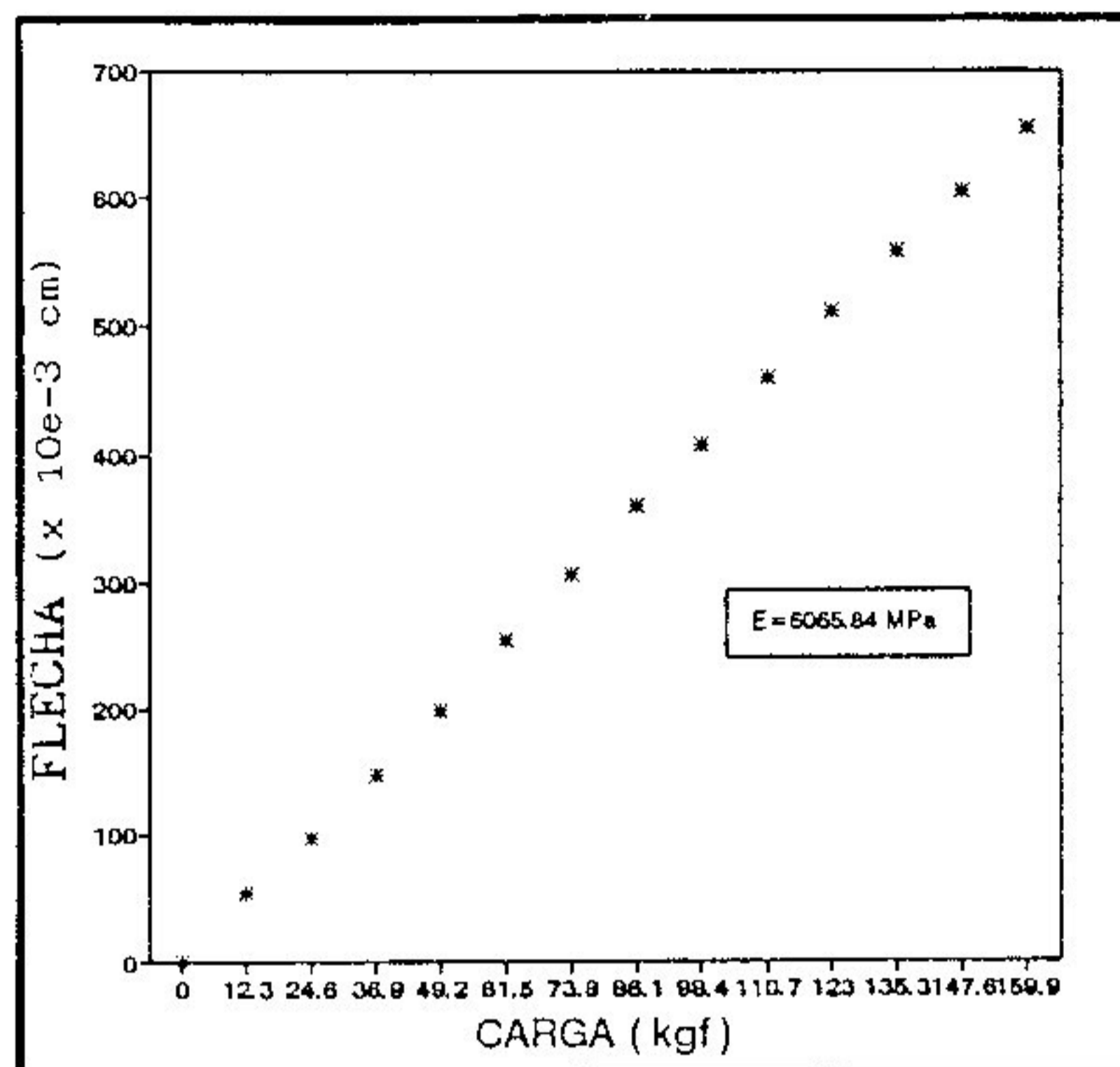


VIGA 10 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

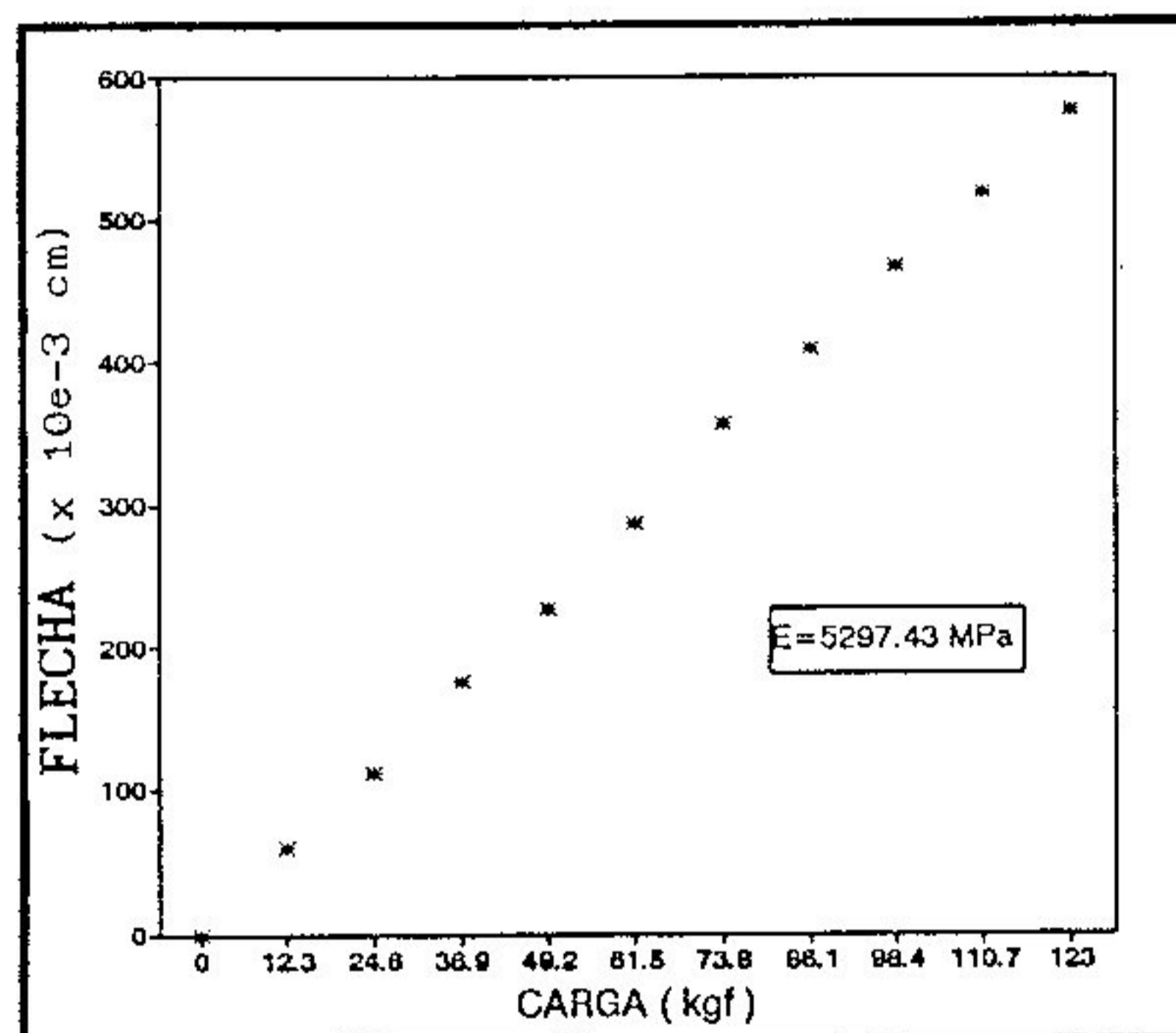
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	54
24.6	97
36.9	148
49.2	199
61.5	255
73.8	306
86.1	360
98.4	408
110.7	459
123	510
135.3	557
147.6	604
159.9	654



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	60
24.6	111
36.9	176
49.2	227
61.5	287
73.8	356
86.1	409
98.4	467
110.7	518
123	576

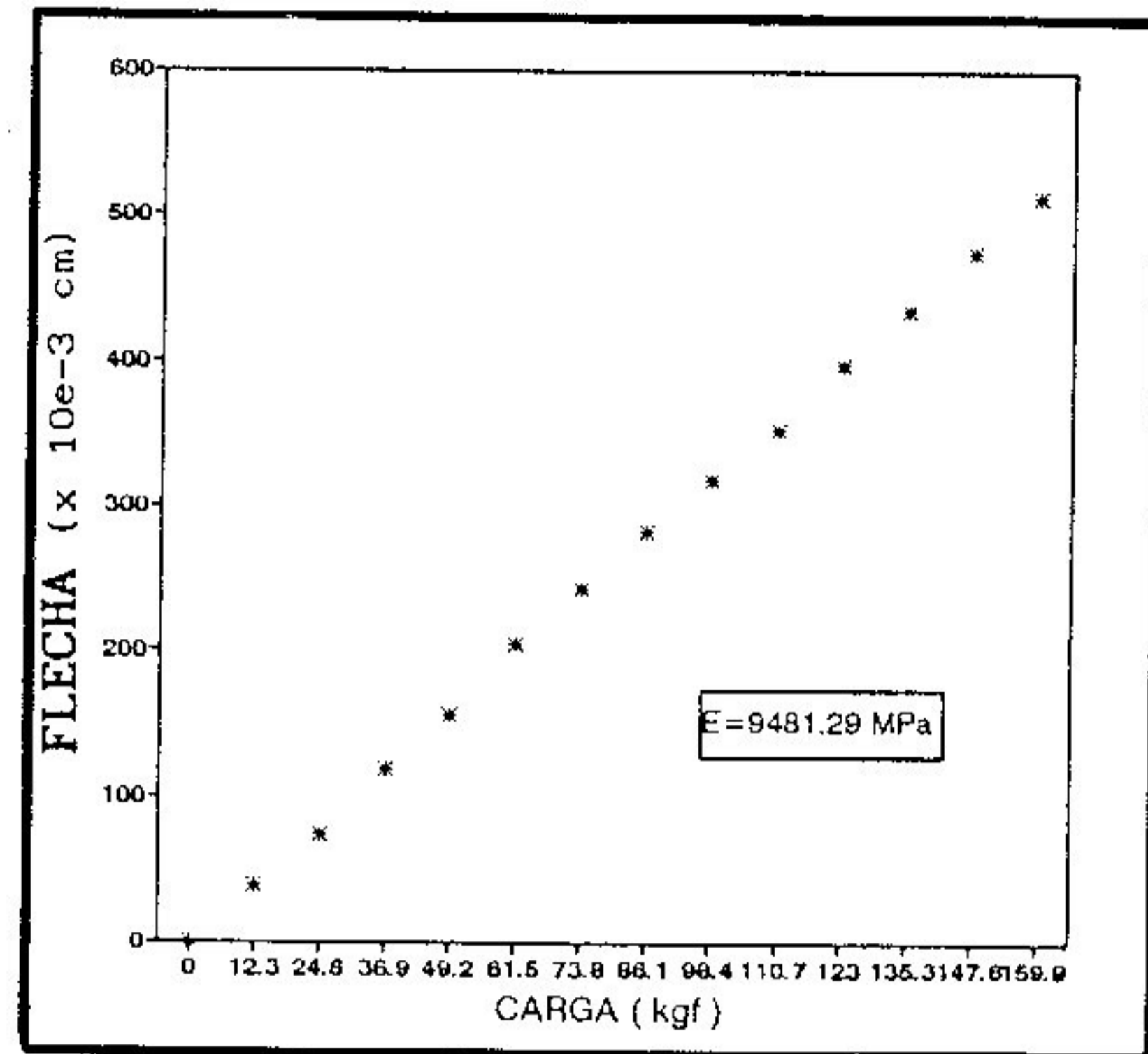


VIGA 11 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	39
24.6	74
36.9	119
49.2	156
61.5	205
73.8	243
86.1	283
98.4	318
110.7	354
123	398
135.3	435
147.6	475
159.9	513

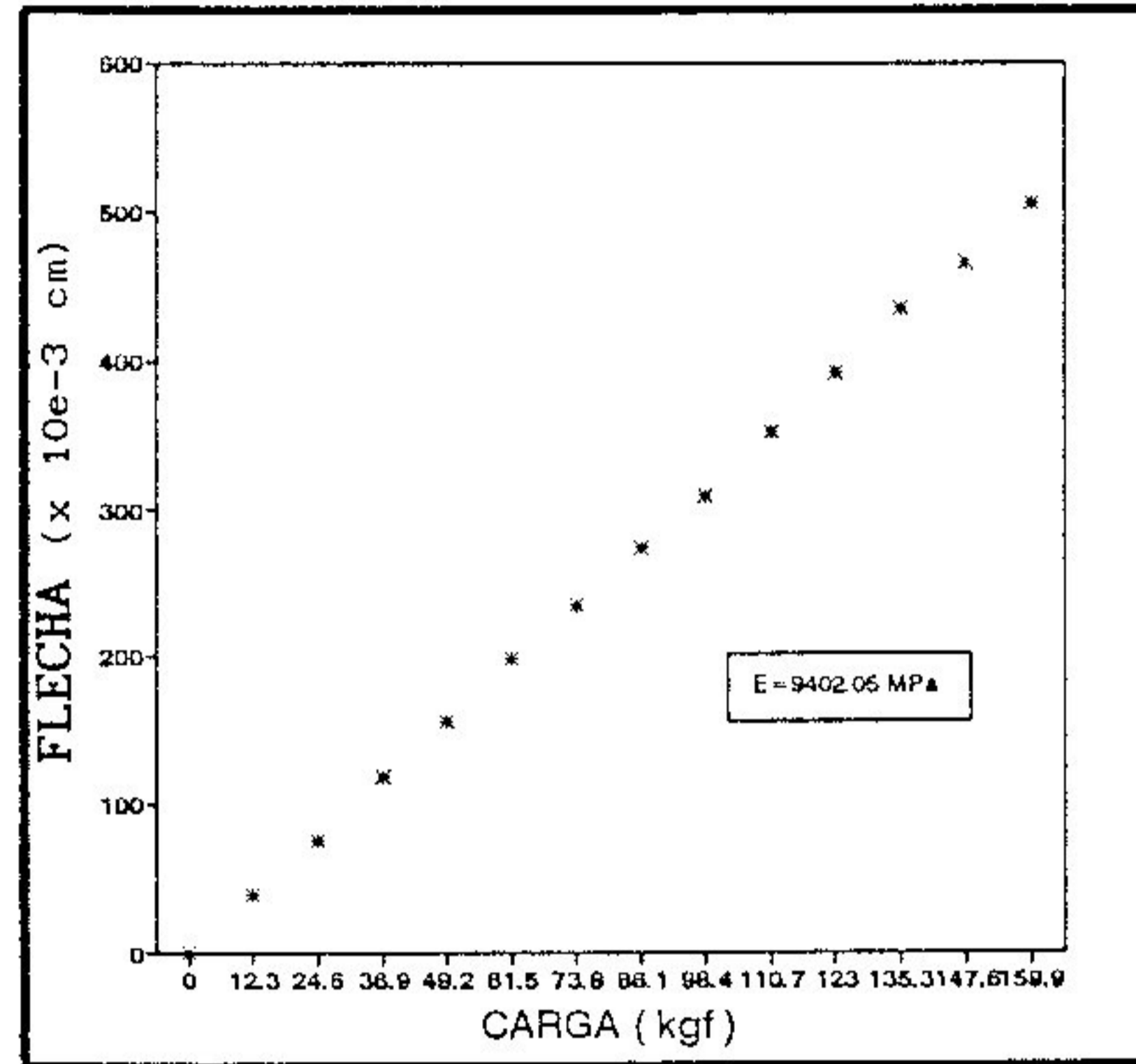


VIGA 11 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	38
24.6	75
36.9	118
49.2	156
61.5	198
73.8	235
86.1	274
98.4	309
110.7	352
123	392
135.3	434
147.6	466
159.9	506

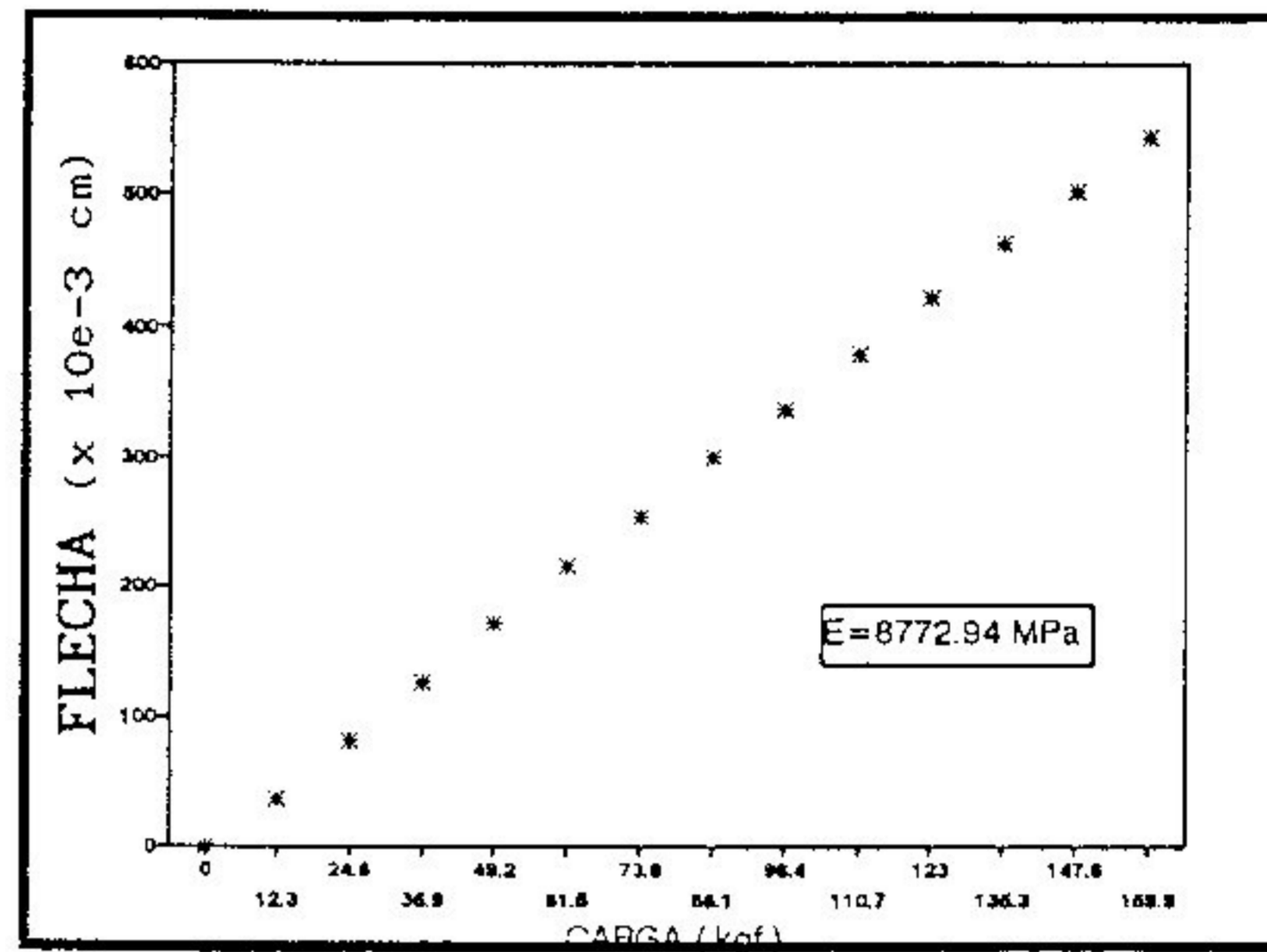


VIGA 12 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

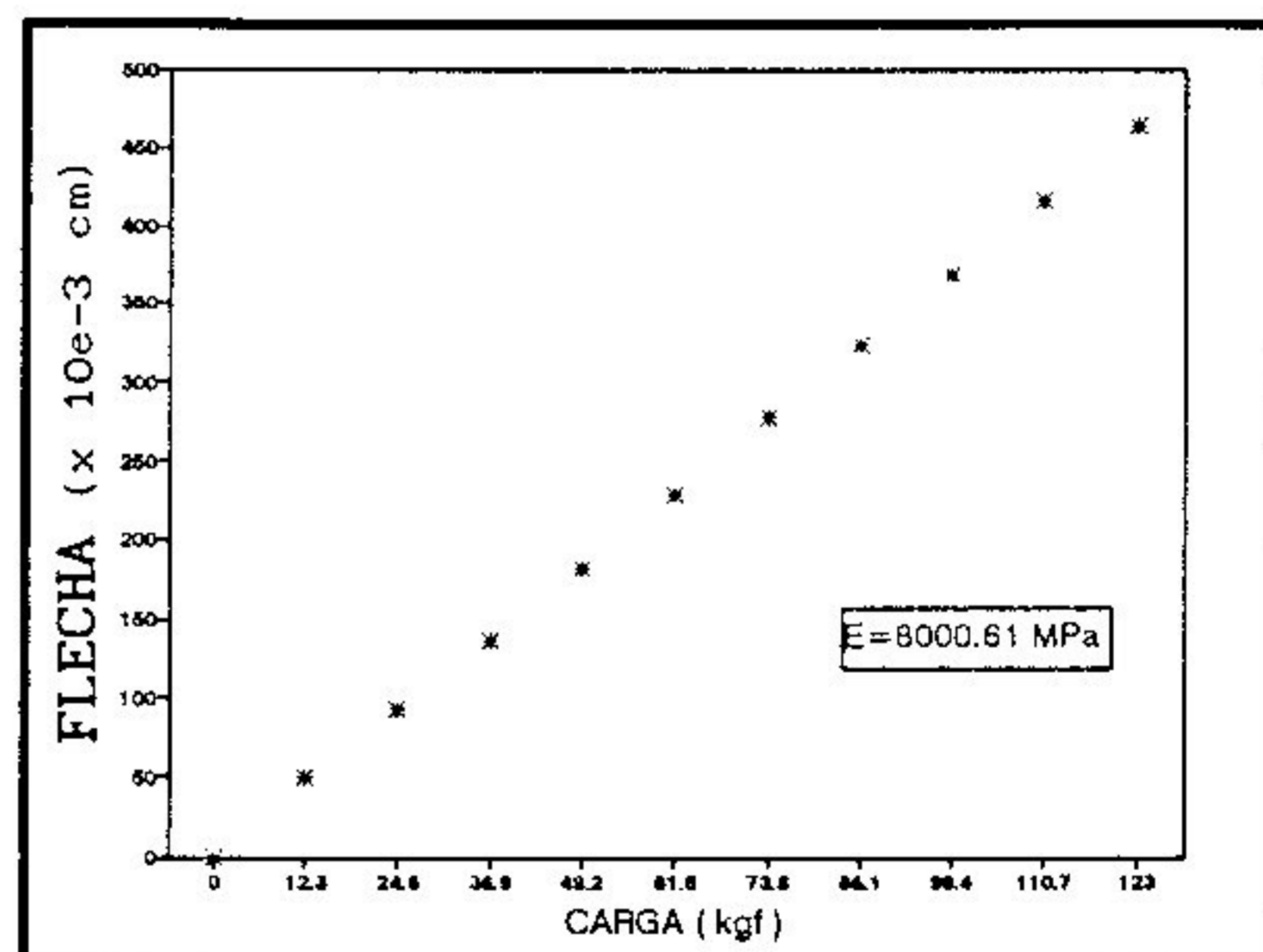
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	37
24.6	81
36.9	126
49.2	171
61.5	216
73.8	254
86.1	300
98.4	337
110.7	379
123	422
135.3	464
147.6	503
159.9	544



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	50
24.6	93
36.9	137
49.2	182
61.5	229
73.8	278
86.1	324
98.4	369
110.7	416
123	464

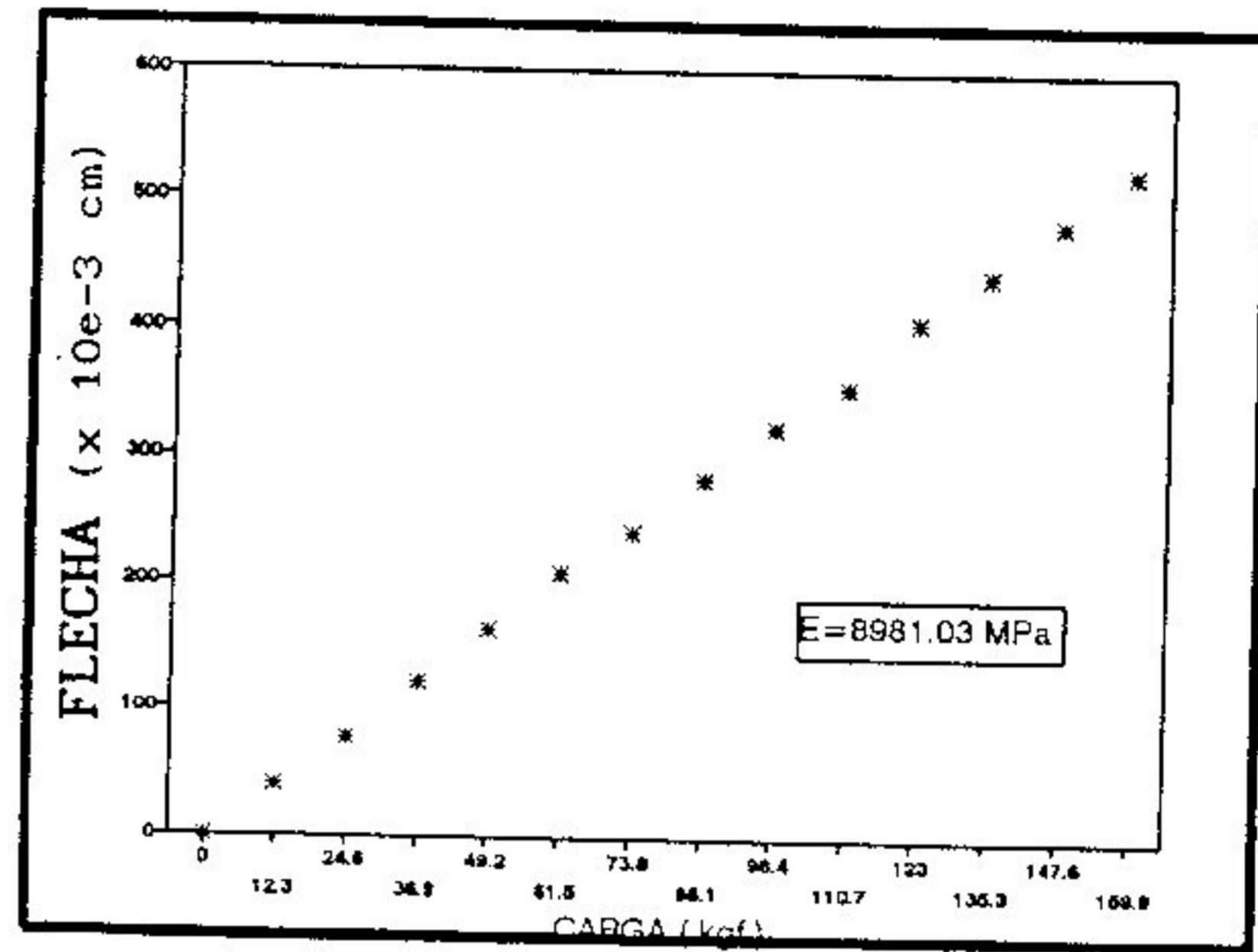


VIGA 12 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

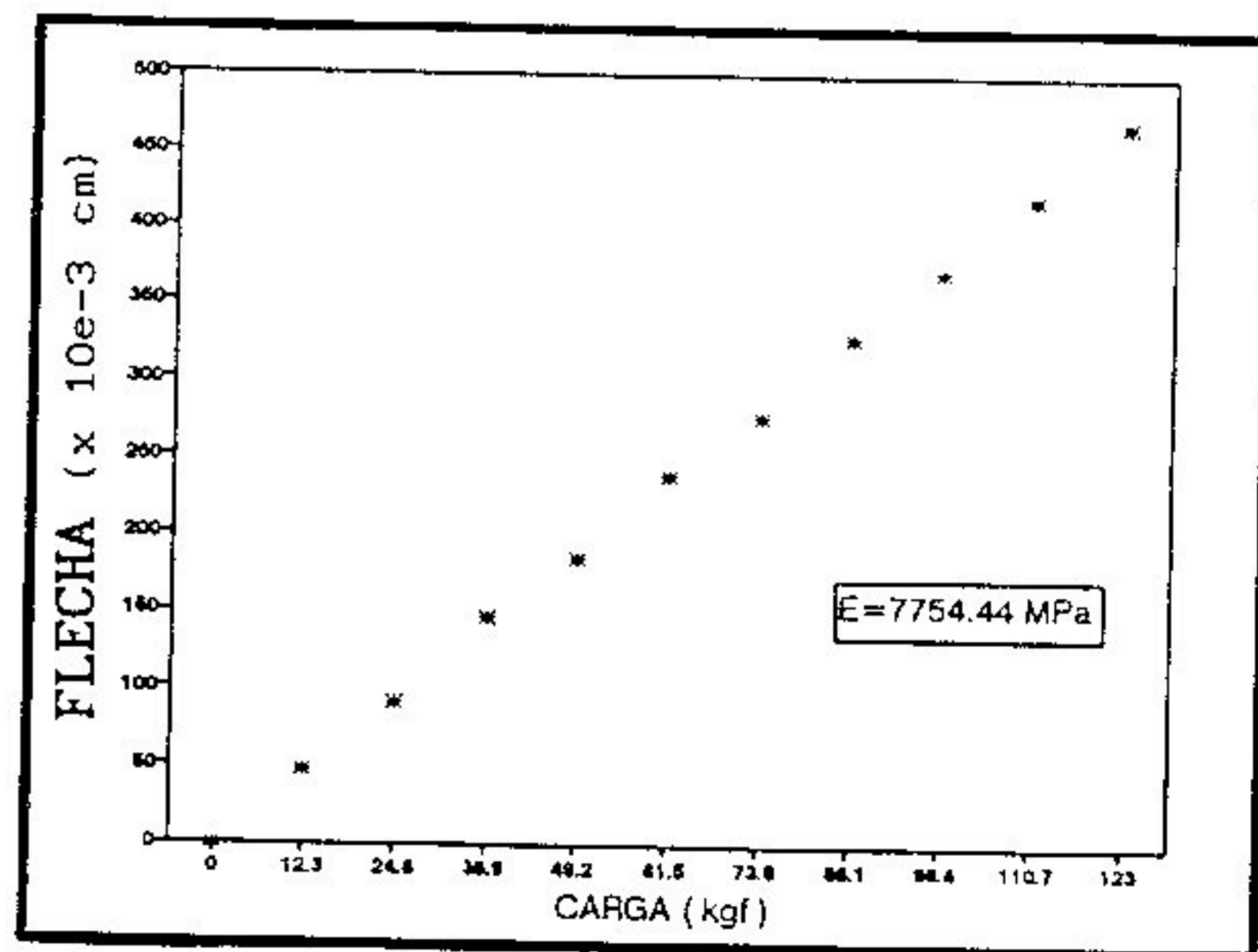
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	40
24.6	77
36.9	121
49.2	163
61.5	207
73.8	240
86.1	283
98.4	324
110.7	356
123	407
135.3	442
147.6	483
159.9	523



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	47
24.6	91
36.9	145
49.2	184
61.5	238
73.8	276
86.1	328
98.4	371
110.7	420
123	468

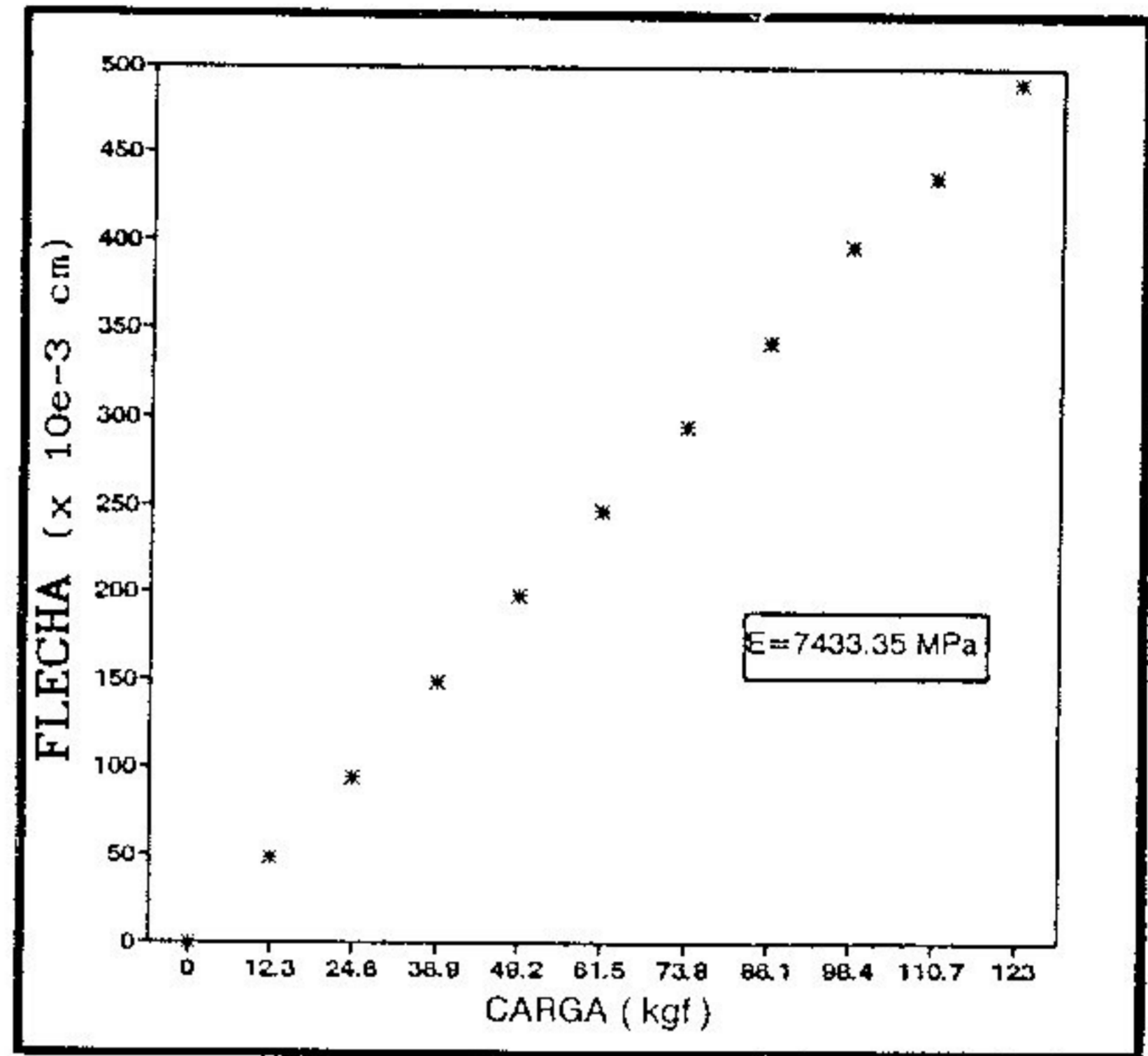


VIGA 14 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

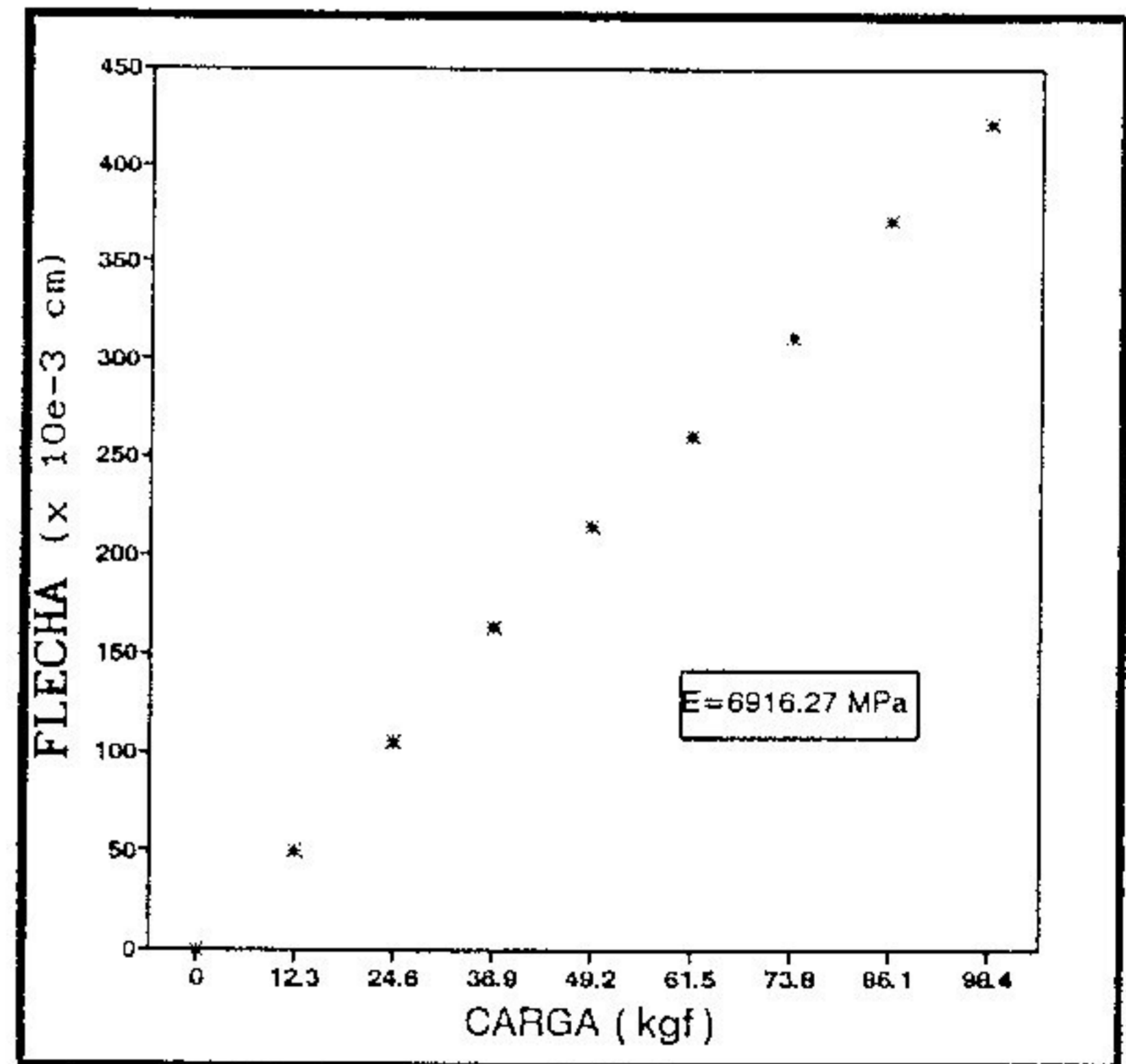
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	48
24.6	94
36.9	148
49.2	198
61.5	247
73.8	295
86.1	342
98.4	396
110.7	436
123	490



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	50
24.6	105
36.9	164
49.2	215
61.5	261
73.8	311
86.1	372
98.4	422

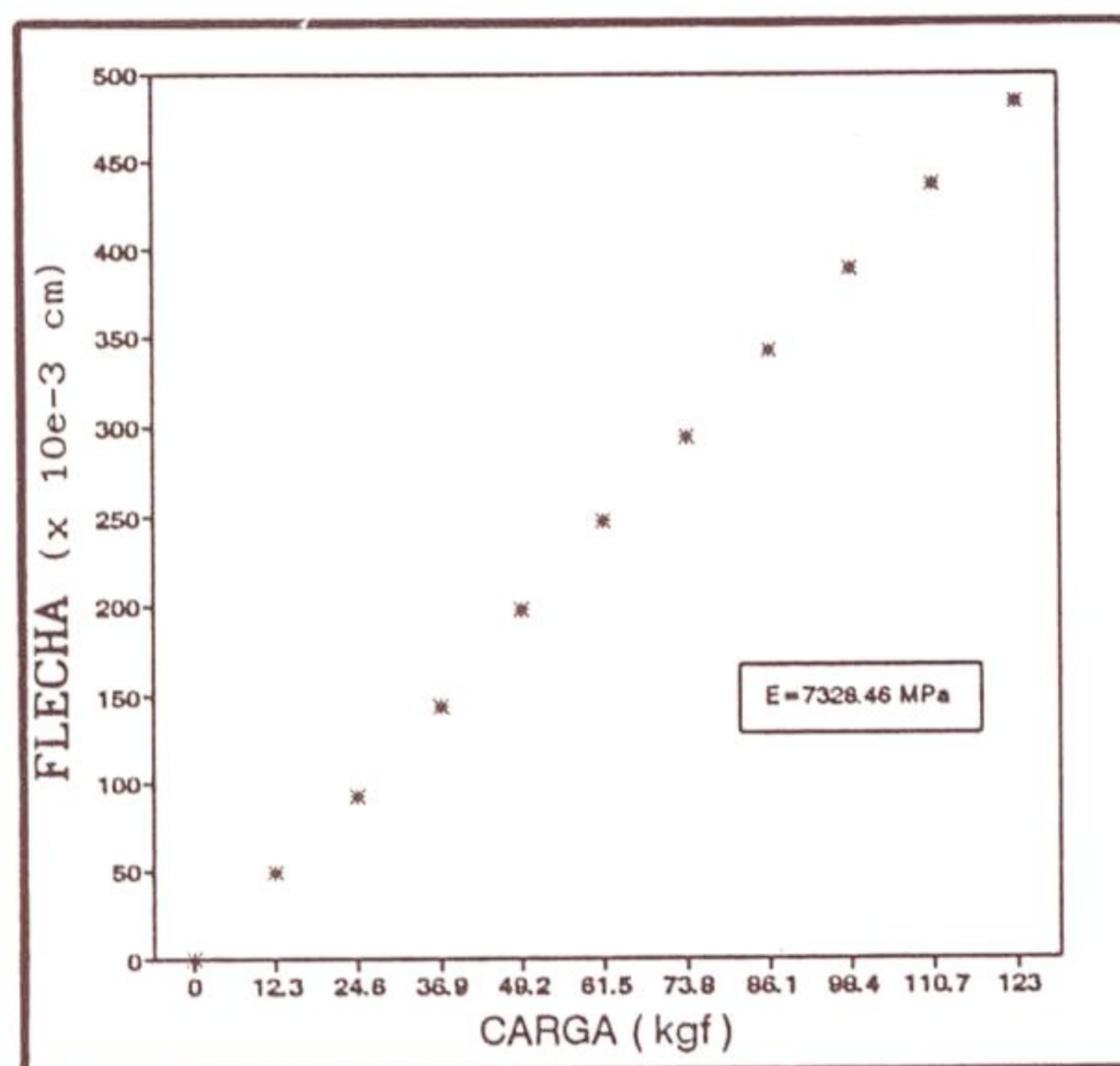


VIGA 14 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

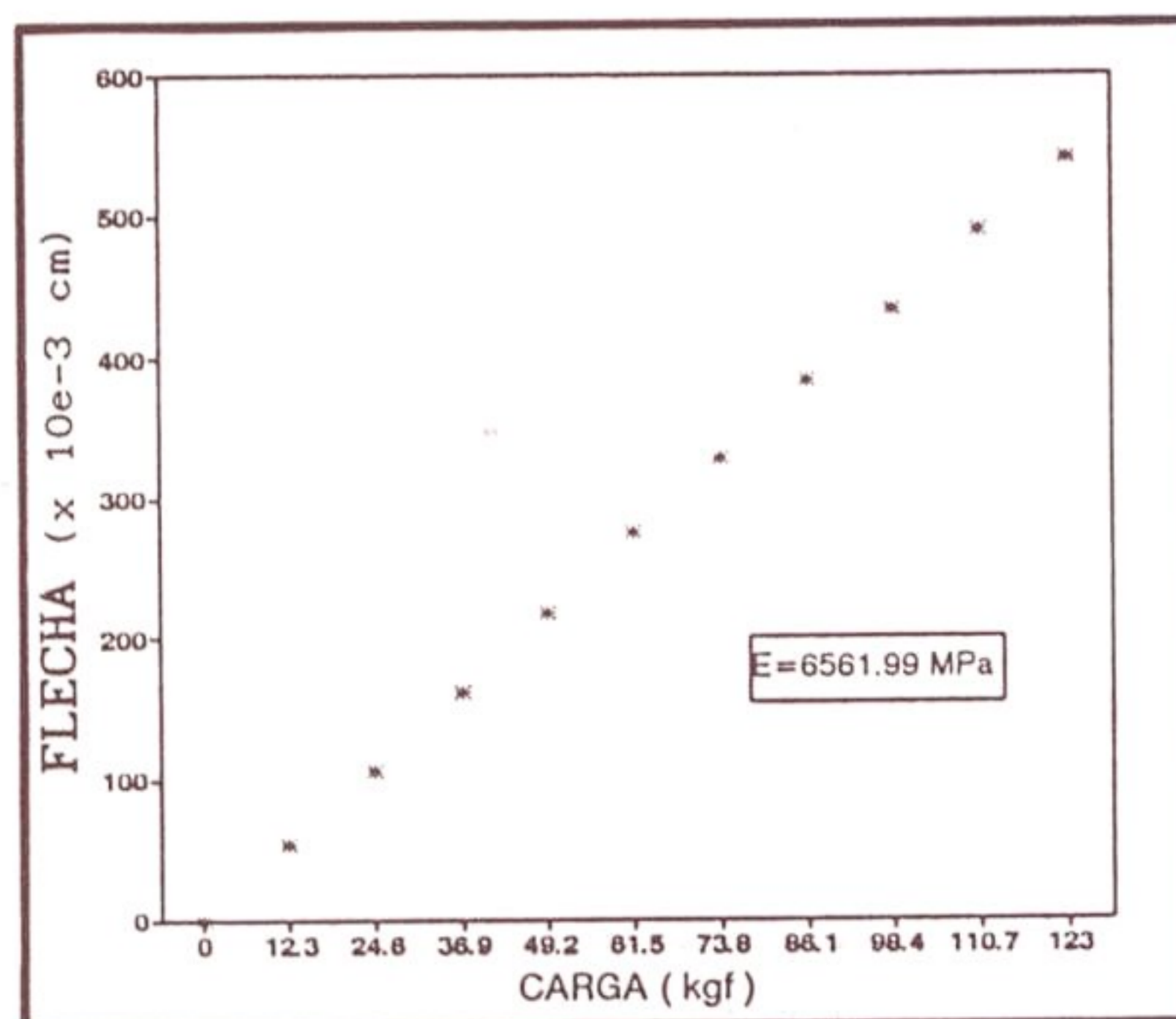
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	49
24.6	93
36.9	144
49.2	198
61.5	247
73.8	294
86.1	343
98.4	389
110.7	437
123	484



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	53
24.6	106
36.9	162
49.2	217
61.5	275
73.8	327
86.1	383
98.4	433
110.7	489
123	540

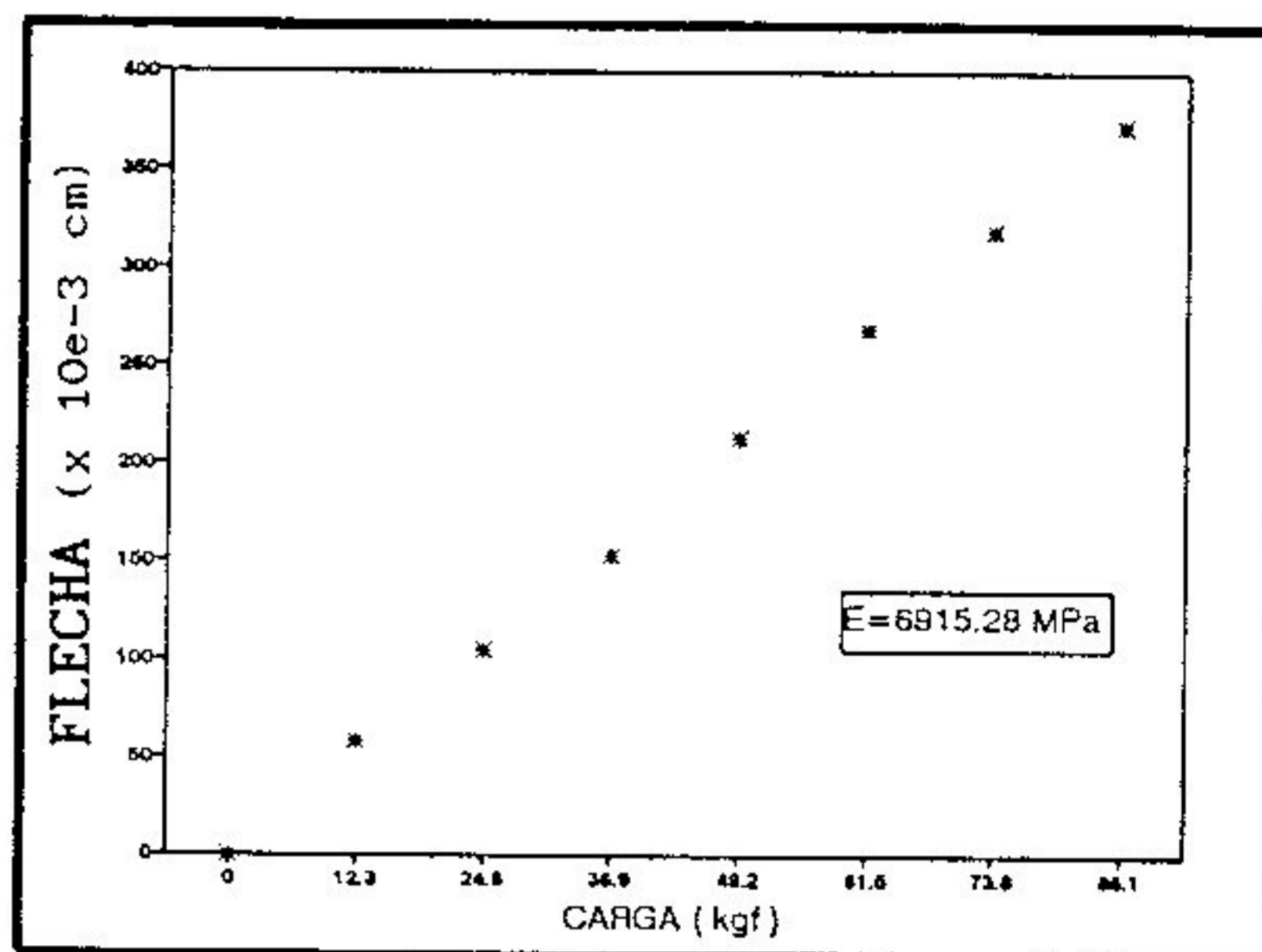


VIGA 16 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

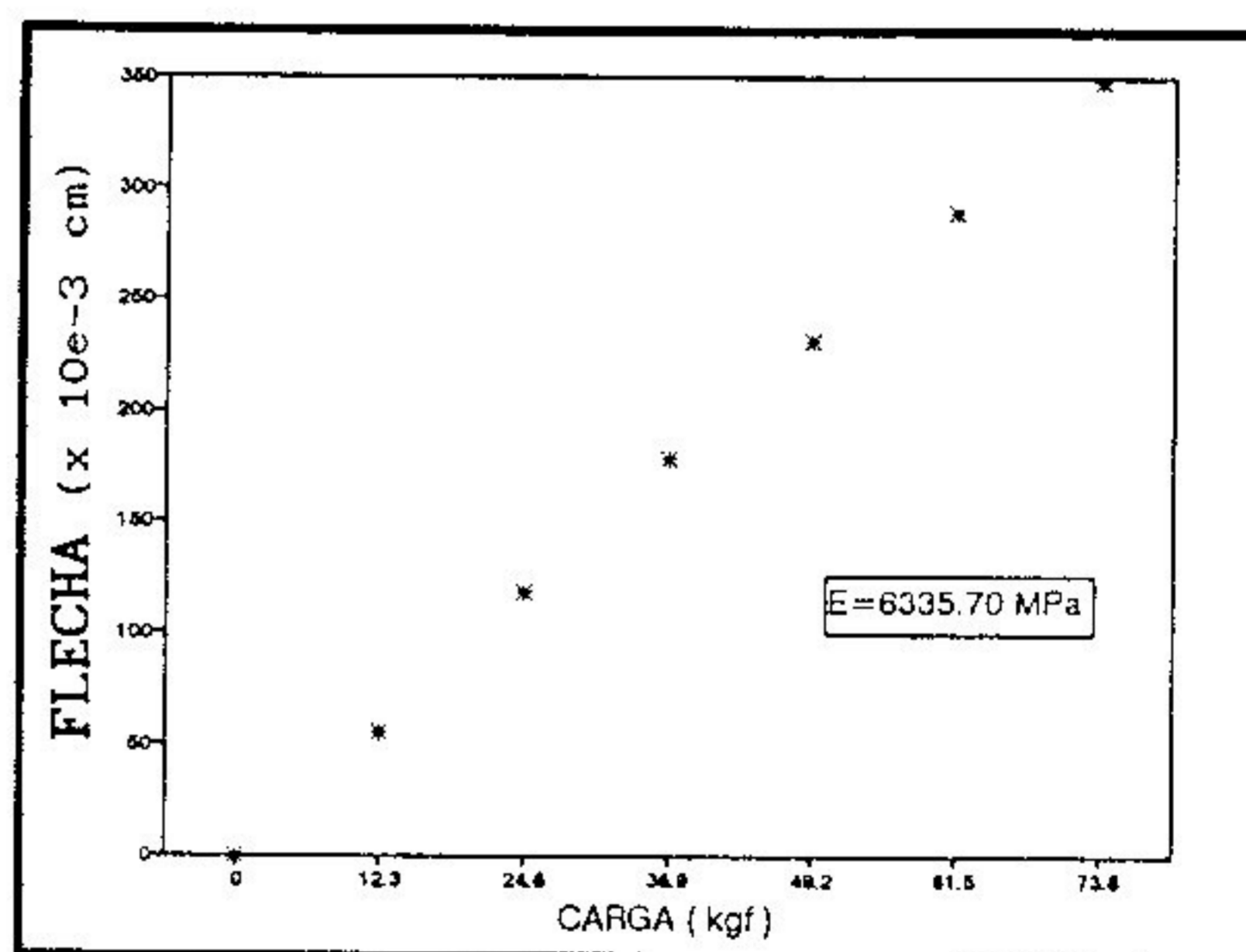
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	58
24.6	104
36.9	152
49.2	212
61.5	268
73.8	319
86.1	372



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	55
24.6	118
36.9	178
49.2	231
61.5	289
73.8	348

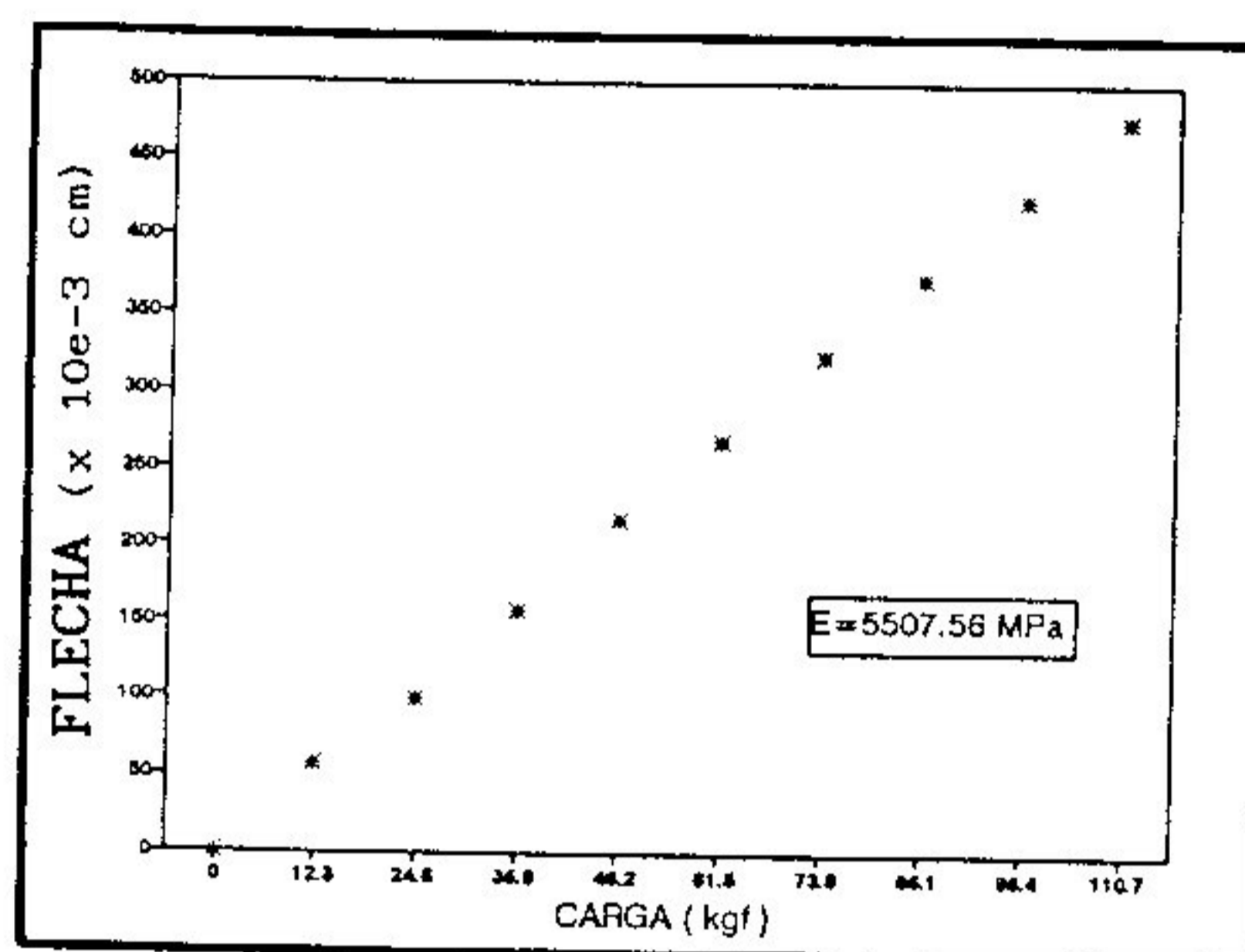


VIGA 16 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

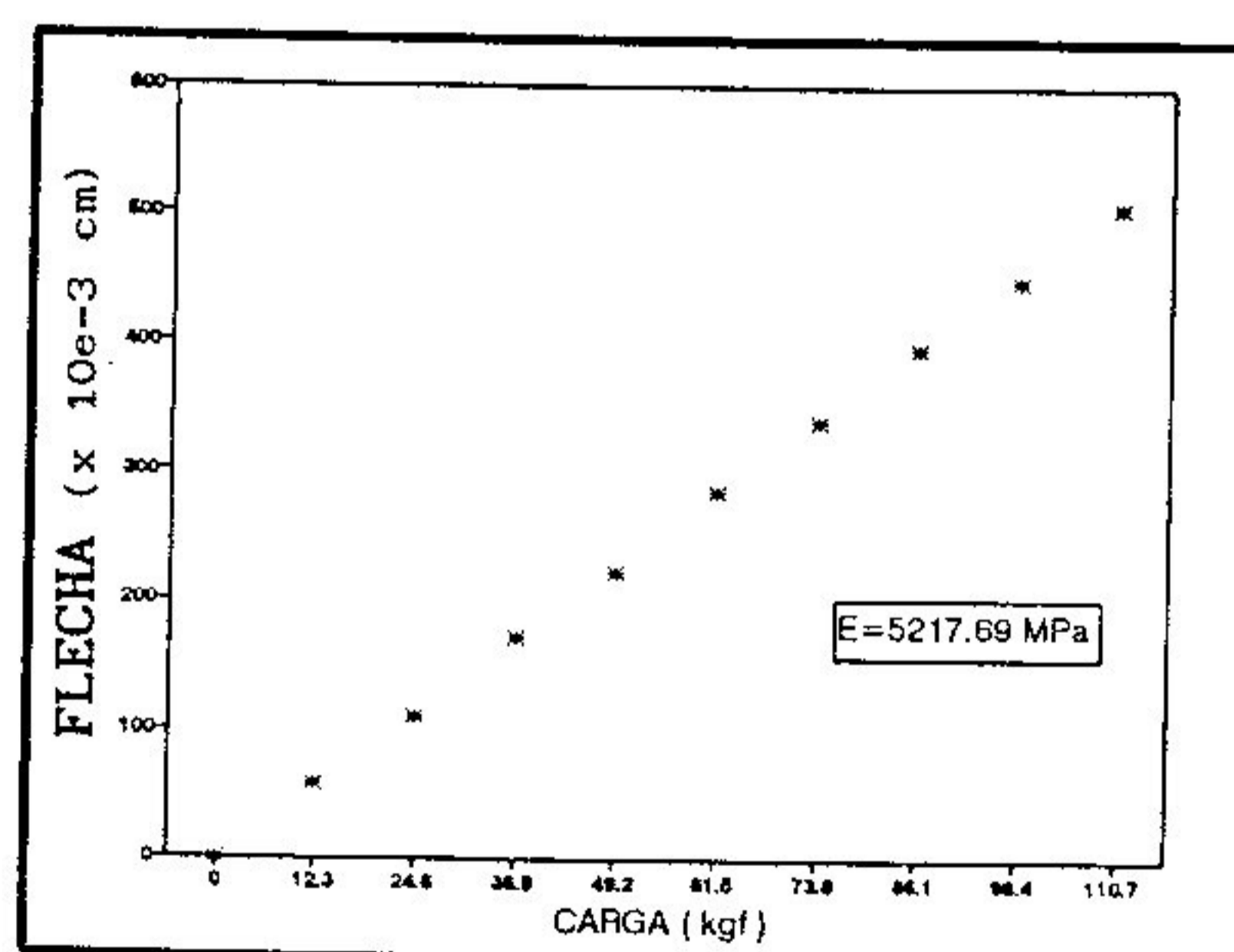
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	57
24.6	99
36.9	157
49.2	217
61.5	269
73.8	324
86.1	374
98.4	425
110.7	476



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	57
24.6	110
36.9	171
49.2	222
61.5	284
73.8	338
86.1	395
98.4	448
110.7	506

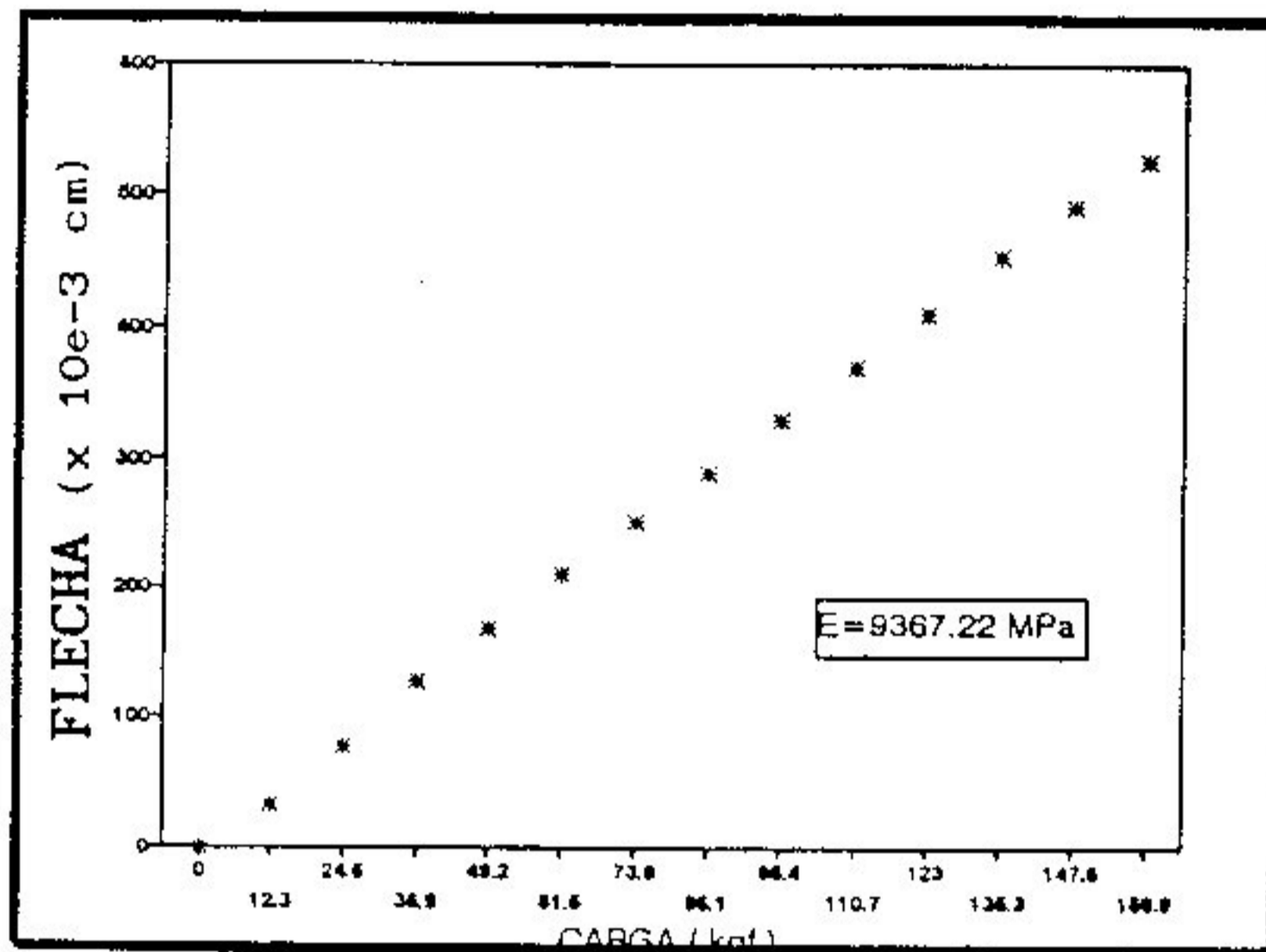


VIGA 17 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

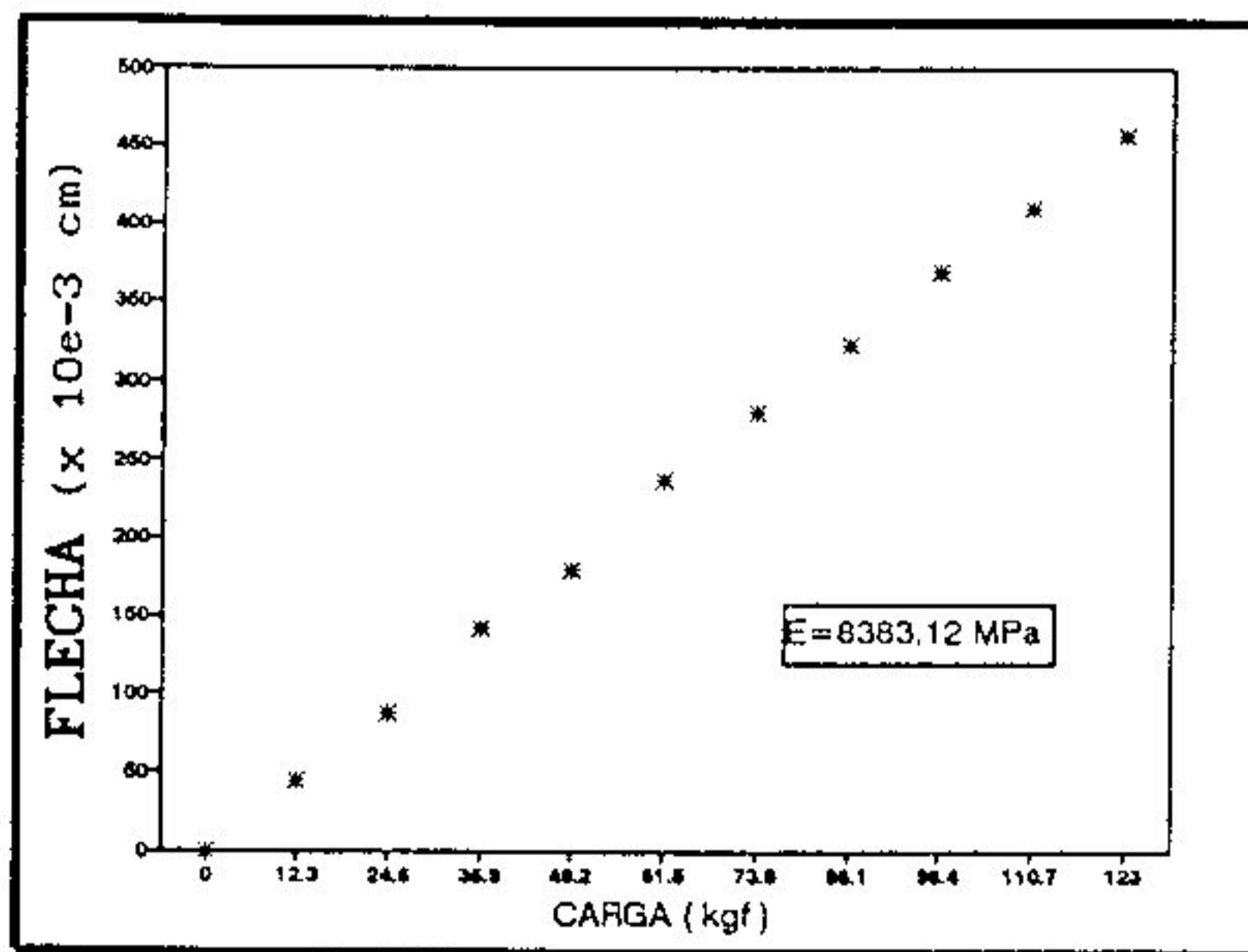
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	32
24.6	77
36.9	127
49.2	168
61.5	210
73.8	252
86.1	290
98.4	331
110.7	371
123	411
135.3	454
147.6	492
159.9	527



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	44
24.6	87
36.9	141
49.2	179
61.5	236
73.8	279
86.1	322
98.4	369
110.7	410
123	456

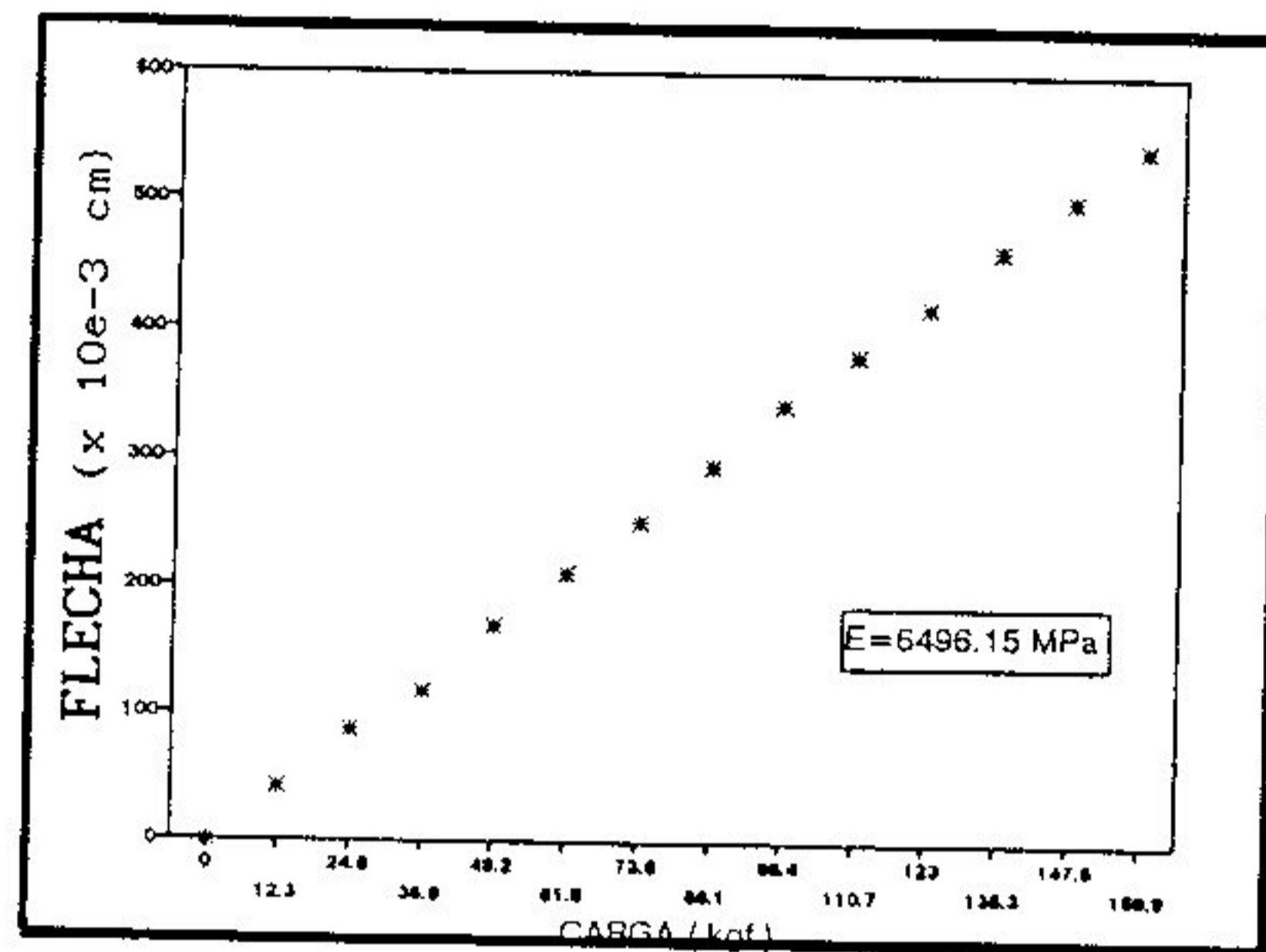


VIGA 17 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

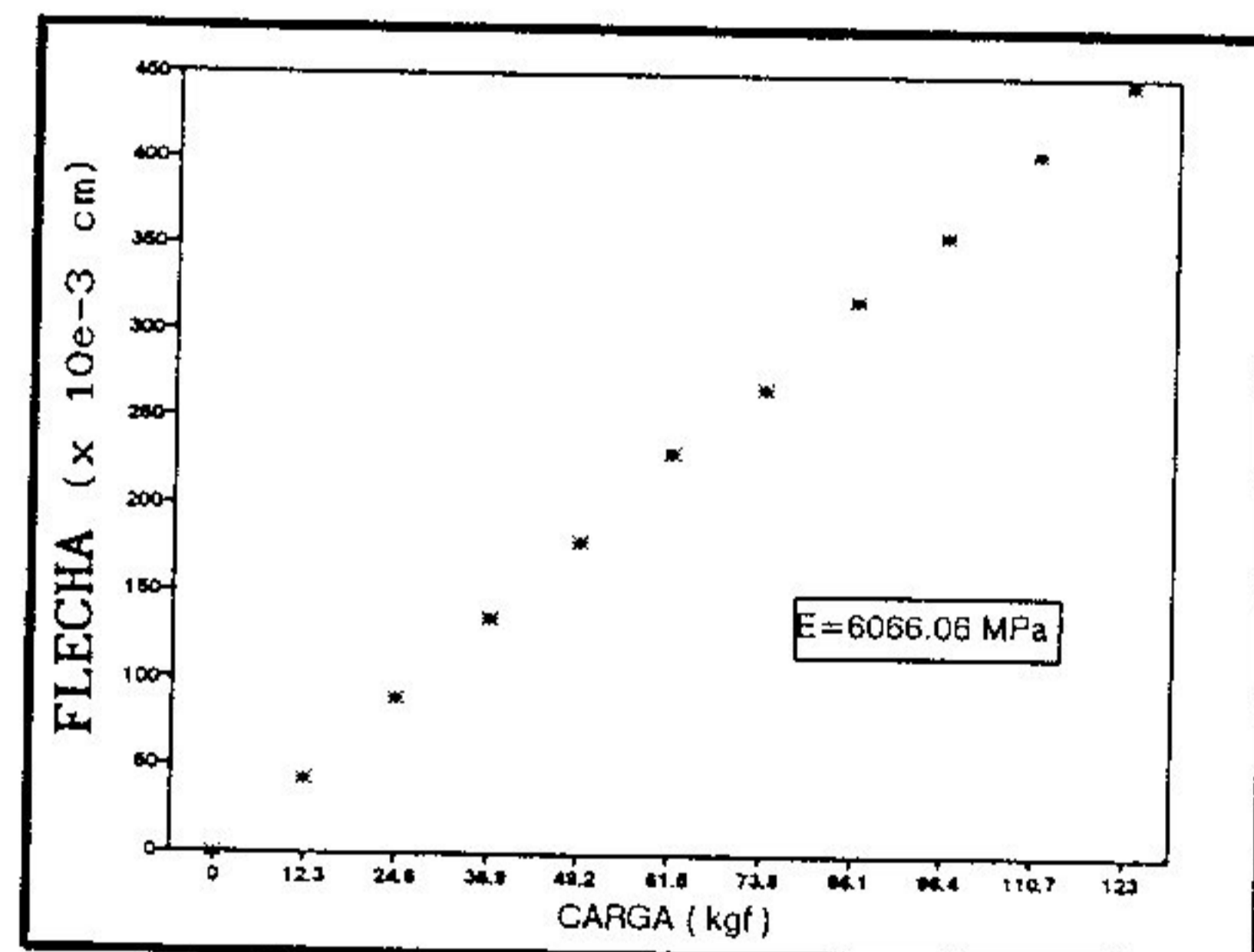
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	41
24.6	87
36.9	117
49.2	169
61.5	211
73.8	251
86.1	294
98.4	341
110.7	379
123	417
135.3	462
147.6	501
159.9	541



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	42
24.6	89
36.9	135
49.2	179
61.5	230
73.8	267
86.1	318
98.4	356
110.7	405
123	445

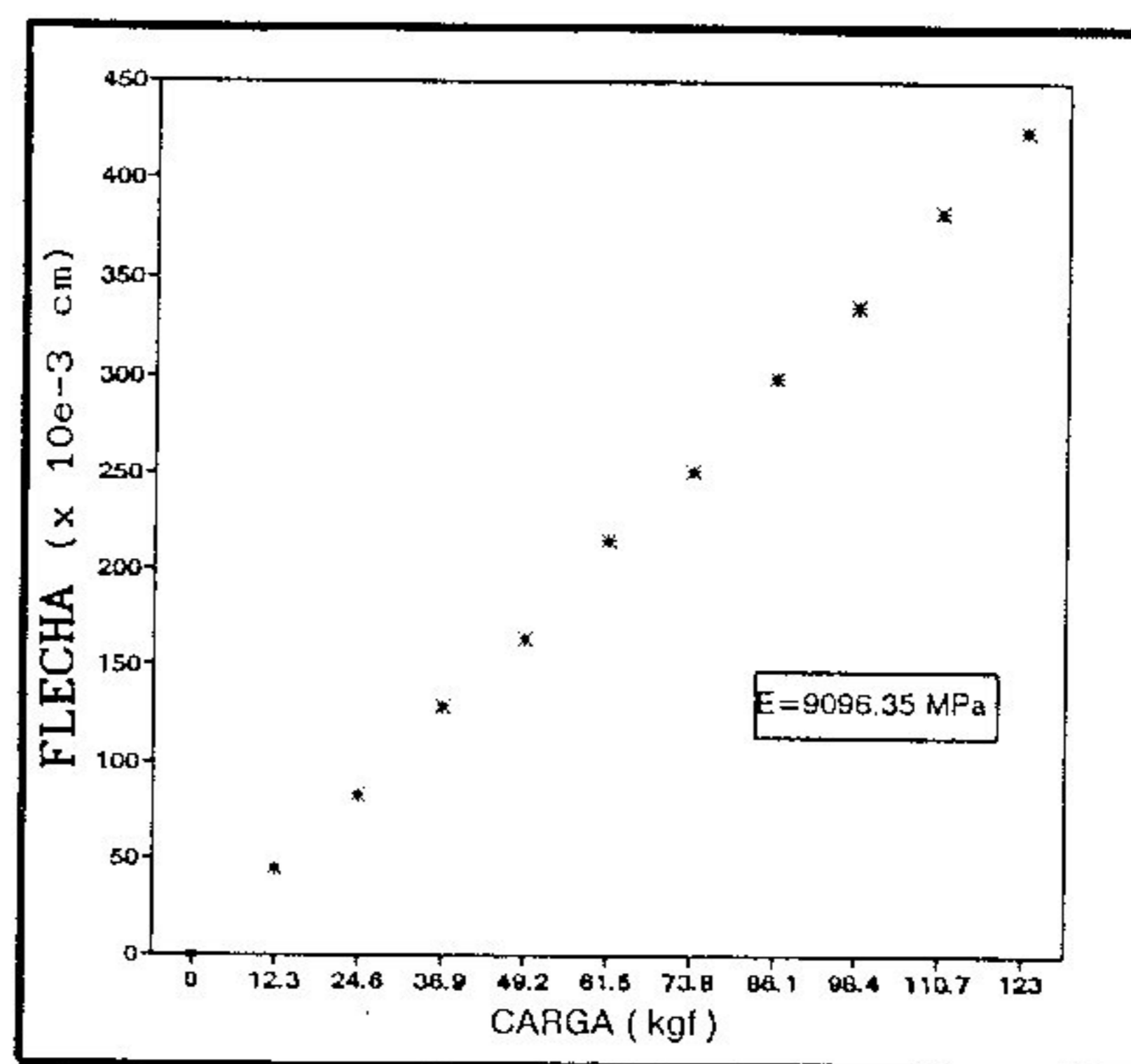


VIGA 18 - L/D = 14

A - DIRECAO 1

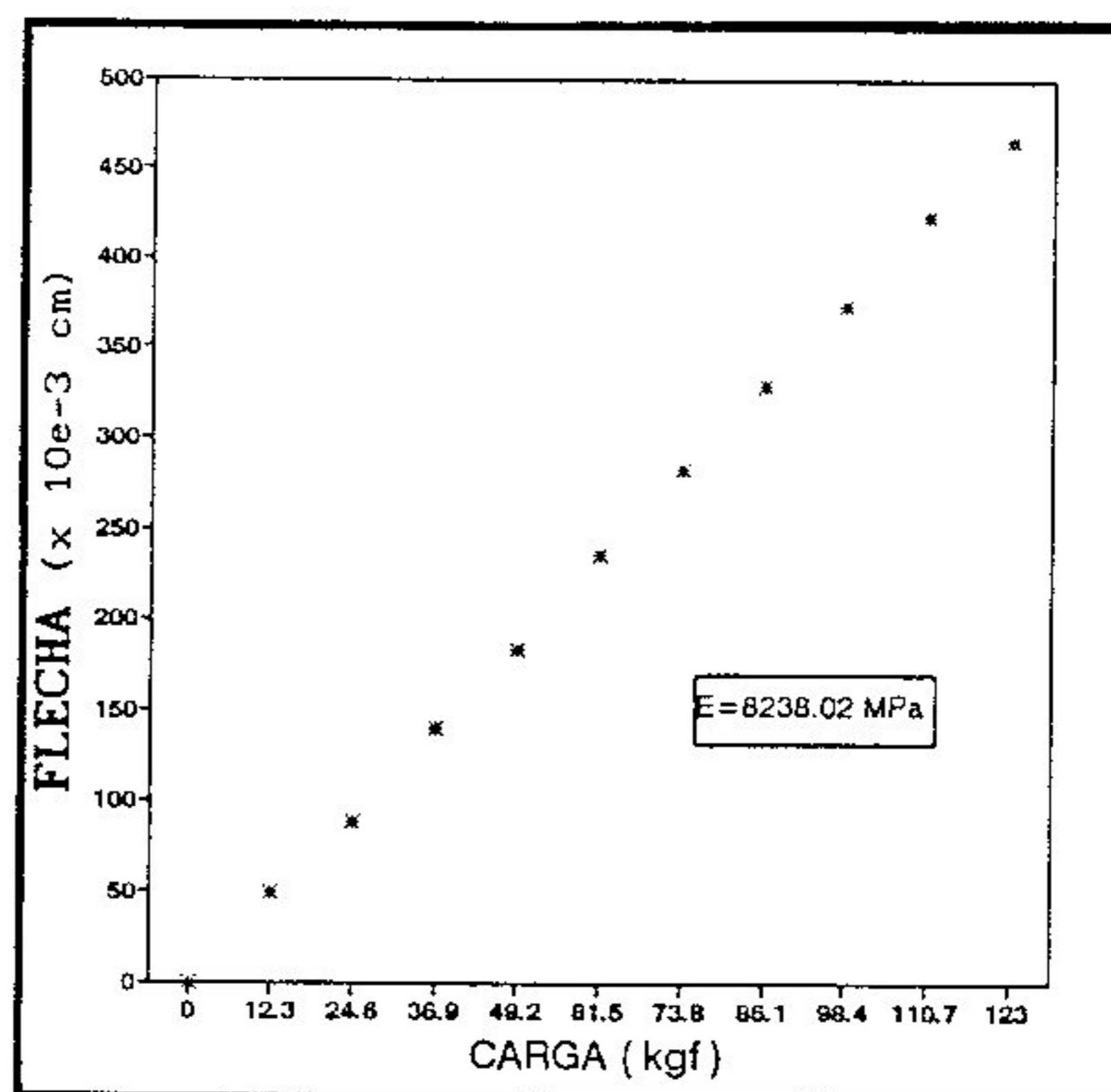
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	45
24.6	83
36.9	129
49.2	164
61.5	215
73.8	252
86.1	299
98.4	336
110.7	383
123	424



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	50
24.6	89
36.9	140
49.2	184
61.5	236
73.8	283
86.1	328
98.4	373
110.7	423
123	465

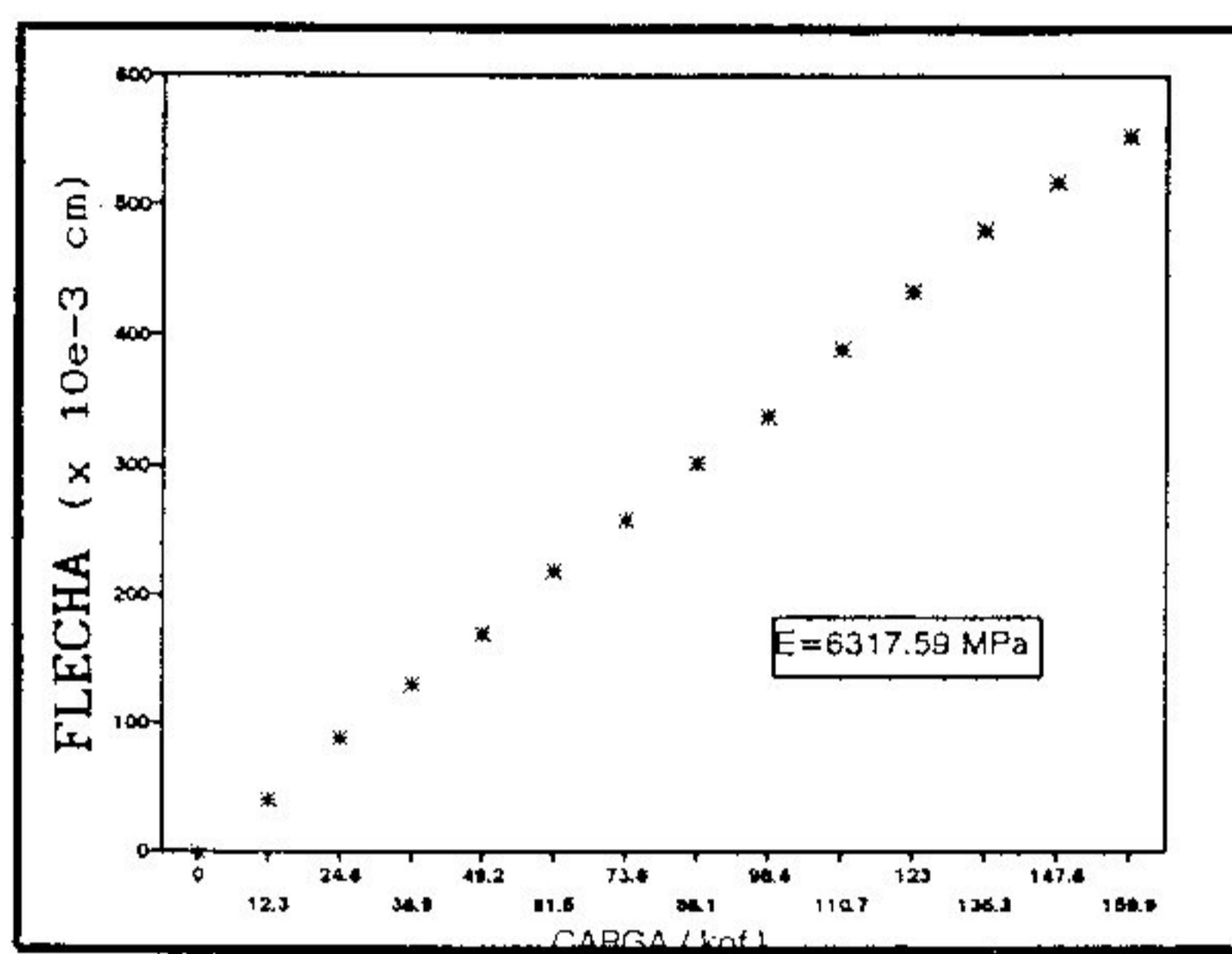


VIGA 18 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

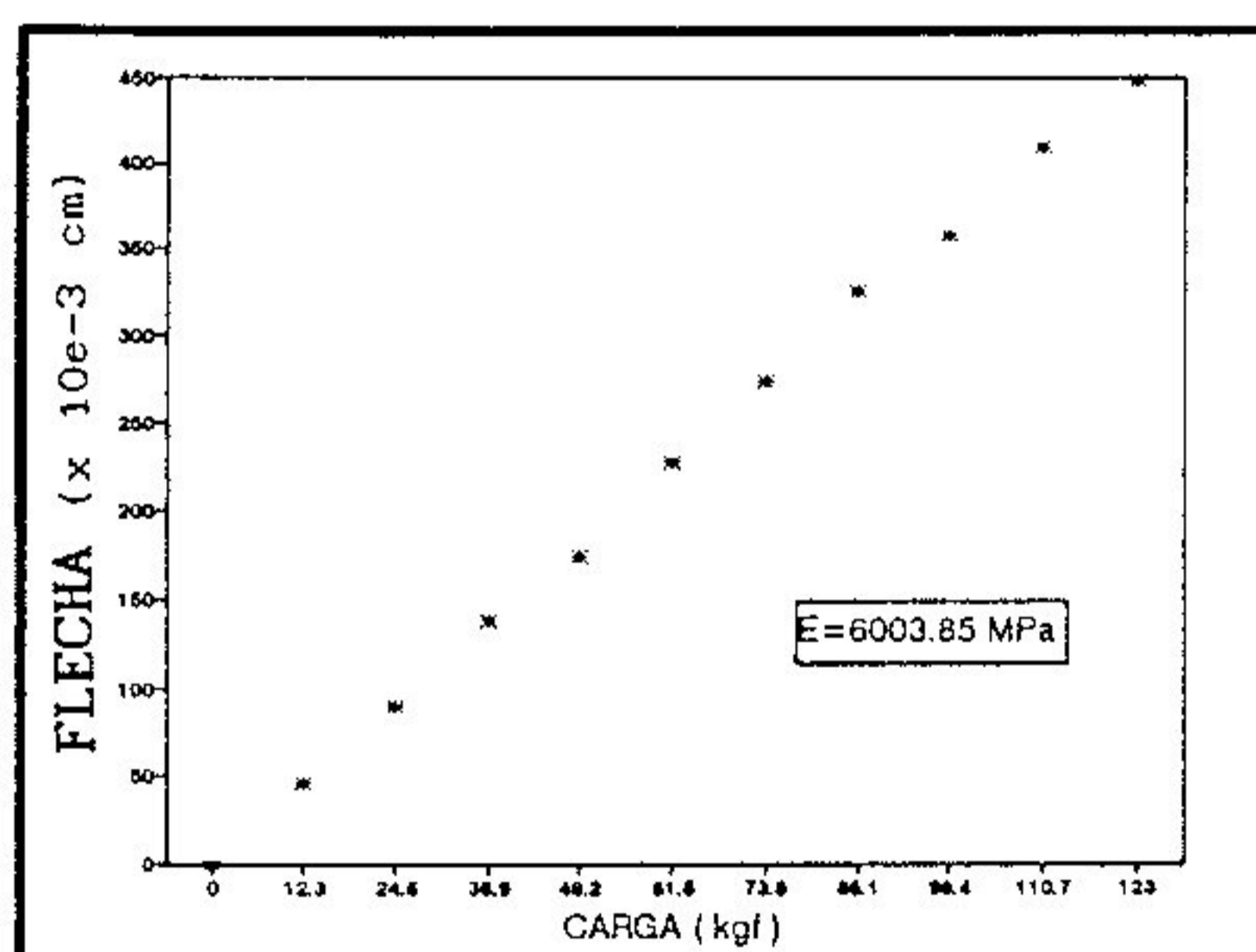
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	40
24.6	88
36.9	130
49.2	171
61.5	219
73.8	259
86.1	302
98.4	338
110.7	388
123	433
135.3	481
147.6	518
159.9	553



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	45
24.6	89
36.9	137
49.2	174
61.5	227
73.8	274
86.1	325
98.4	358
110.7	409
123	448

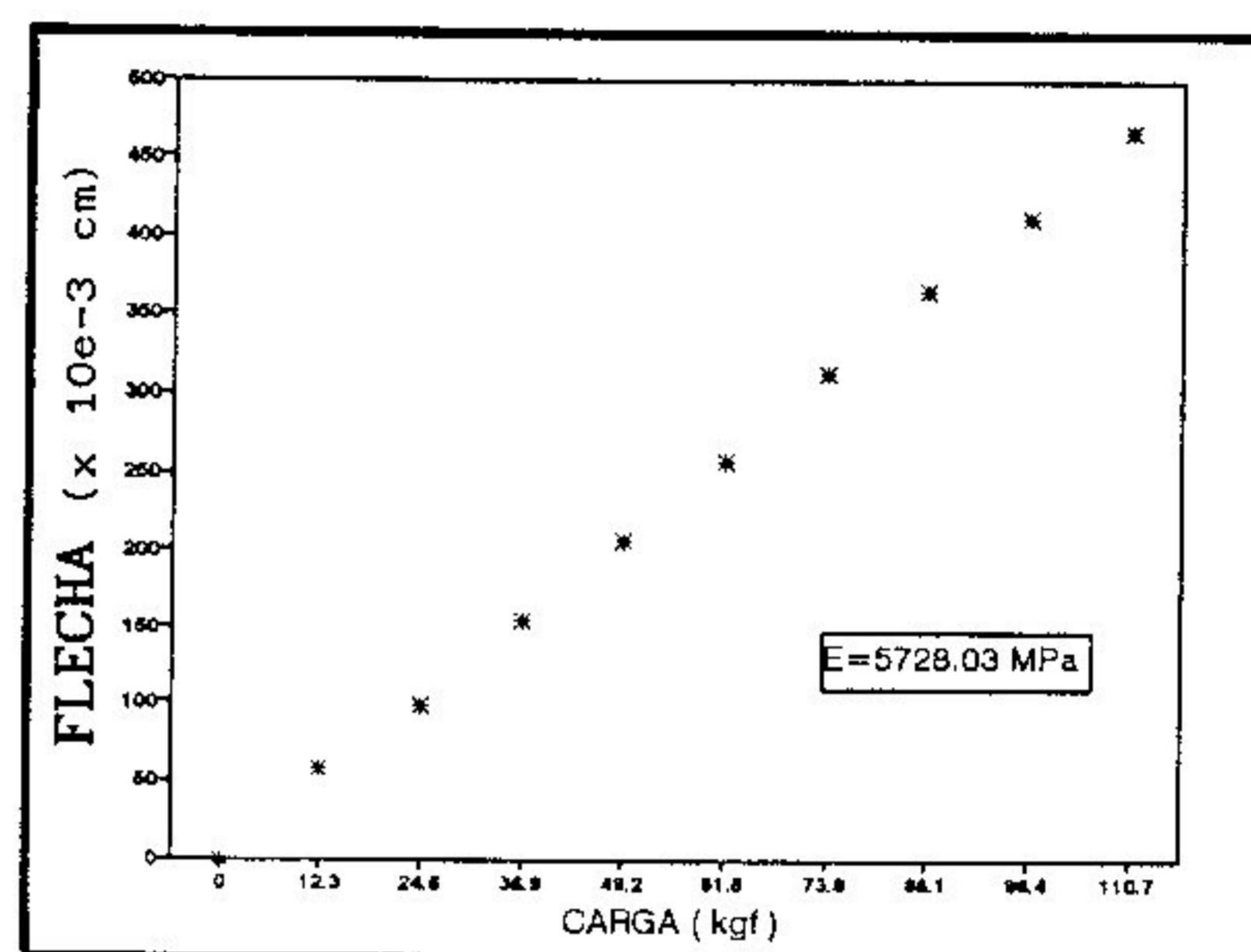


VIGA 20 - L/D = 14

B - DIRECAO 2

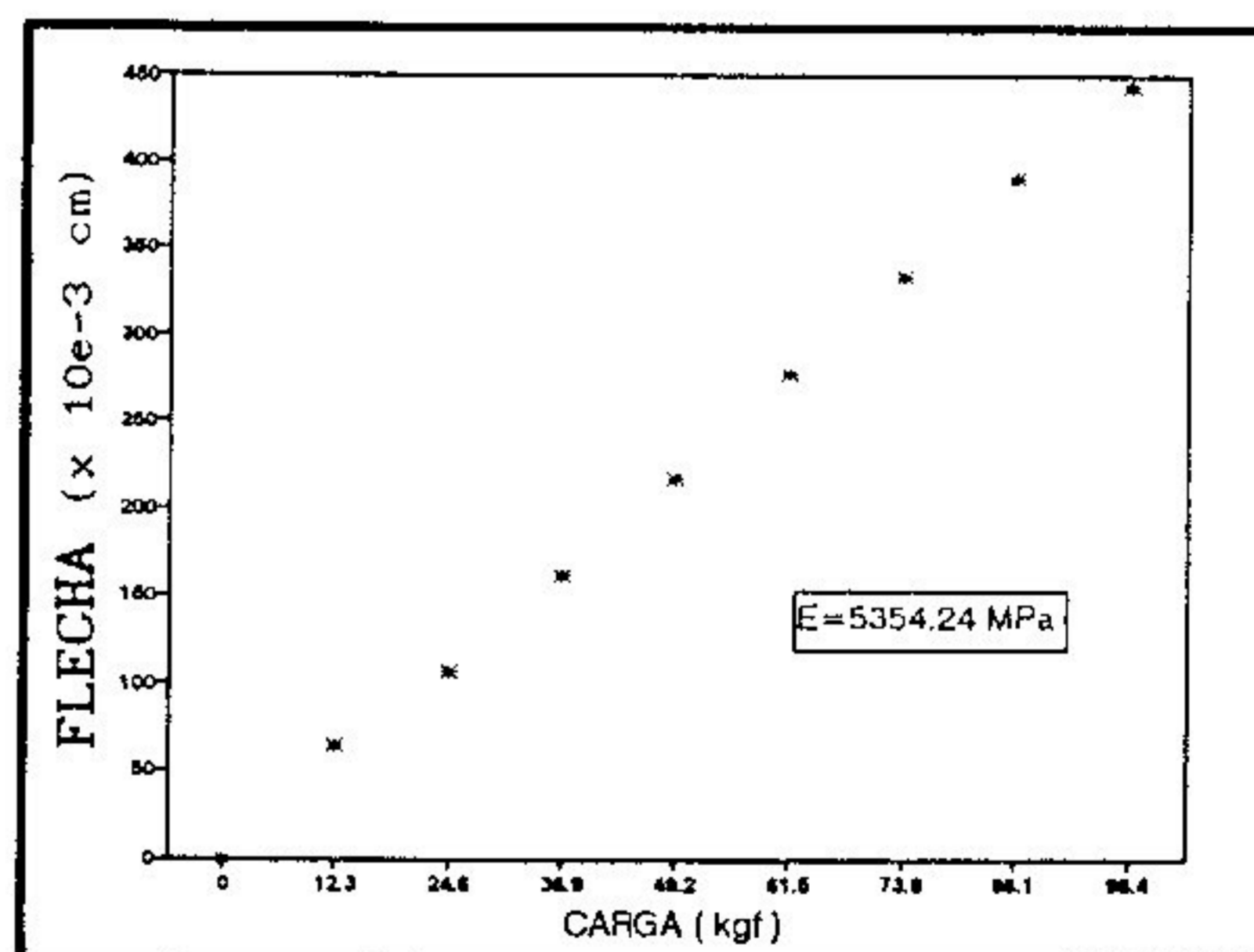
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	57
24.6	98
36.9	155
49.2	207
61.5	258
73.8	313
86.1	365
98.4	412
110.7	467



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	64
24.6	106
36.9	162
49.2	217
61.5	277
73.8	333
86.1	390
98.4	444

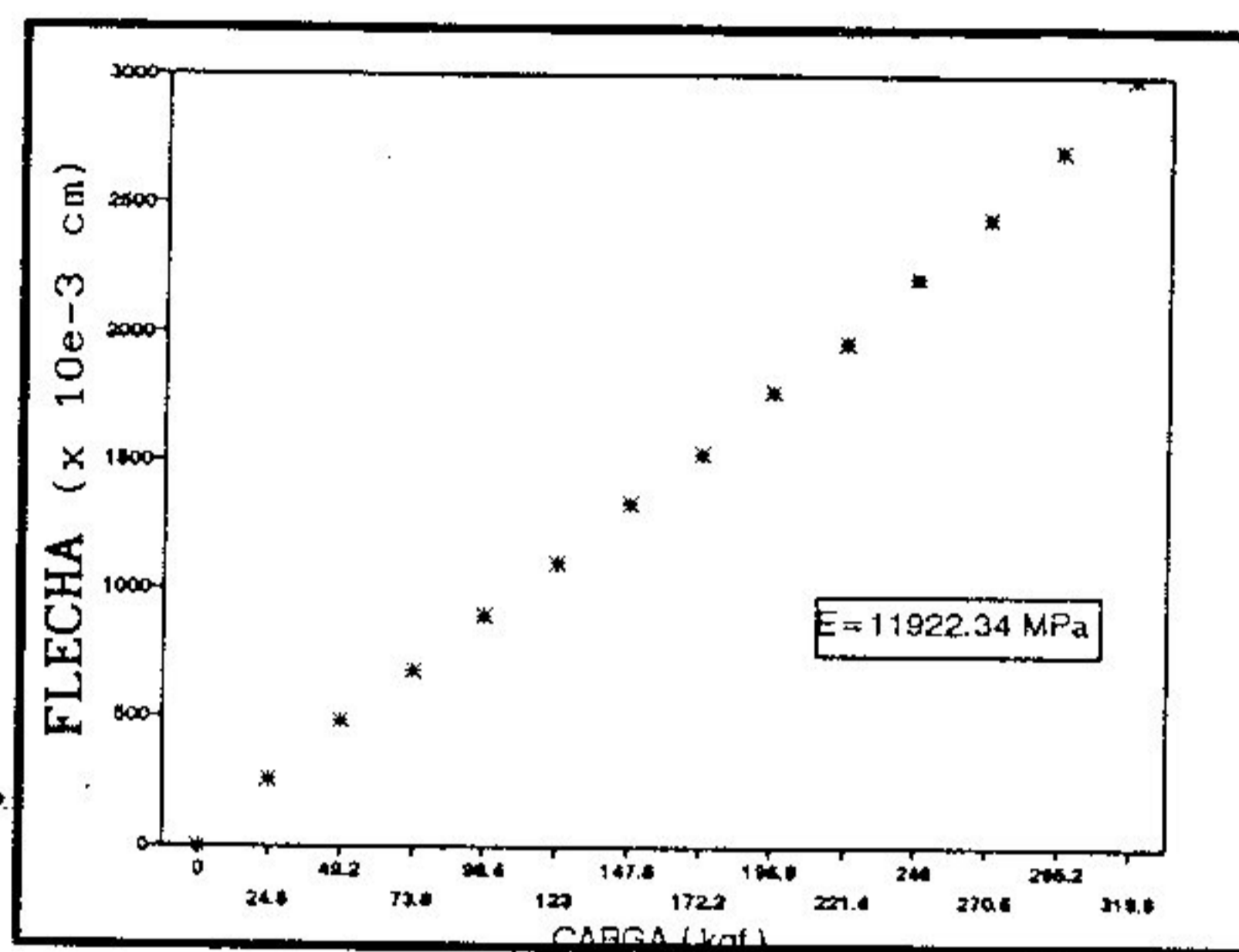


VIGA 1 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

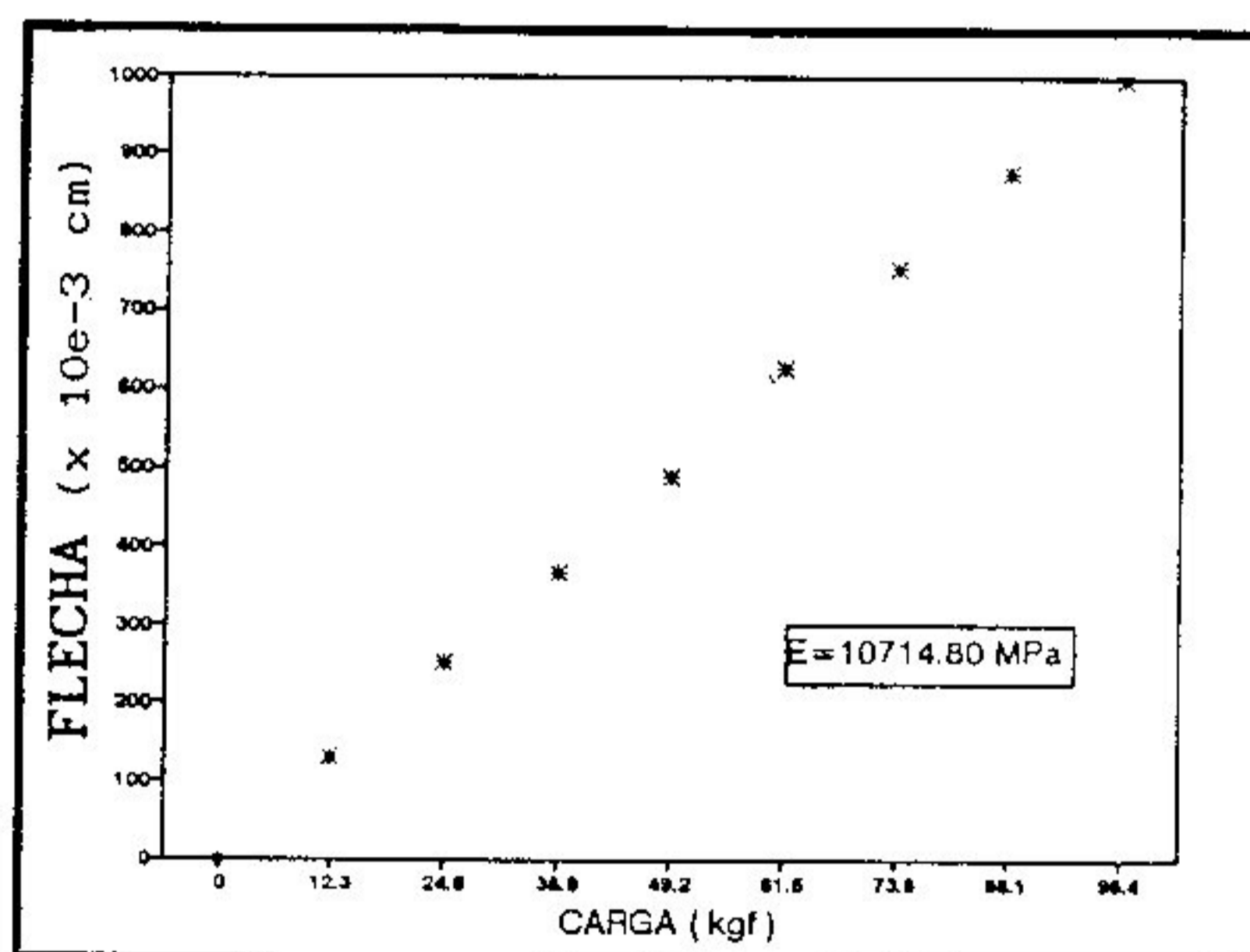
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
24.6	256
49.2	480
73.8	679
98.4	894
123	1103
147.6	1330
172.2	1526
196.8	1768
221.4	1963
246	2220
270.6	2448
295.2	2710
319.8	2985



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	130
24.6	252
36.9	367
49.2	487
61.5	626
73.8	754
86.1	875
98.4	995

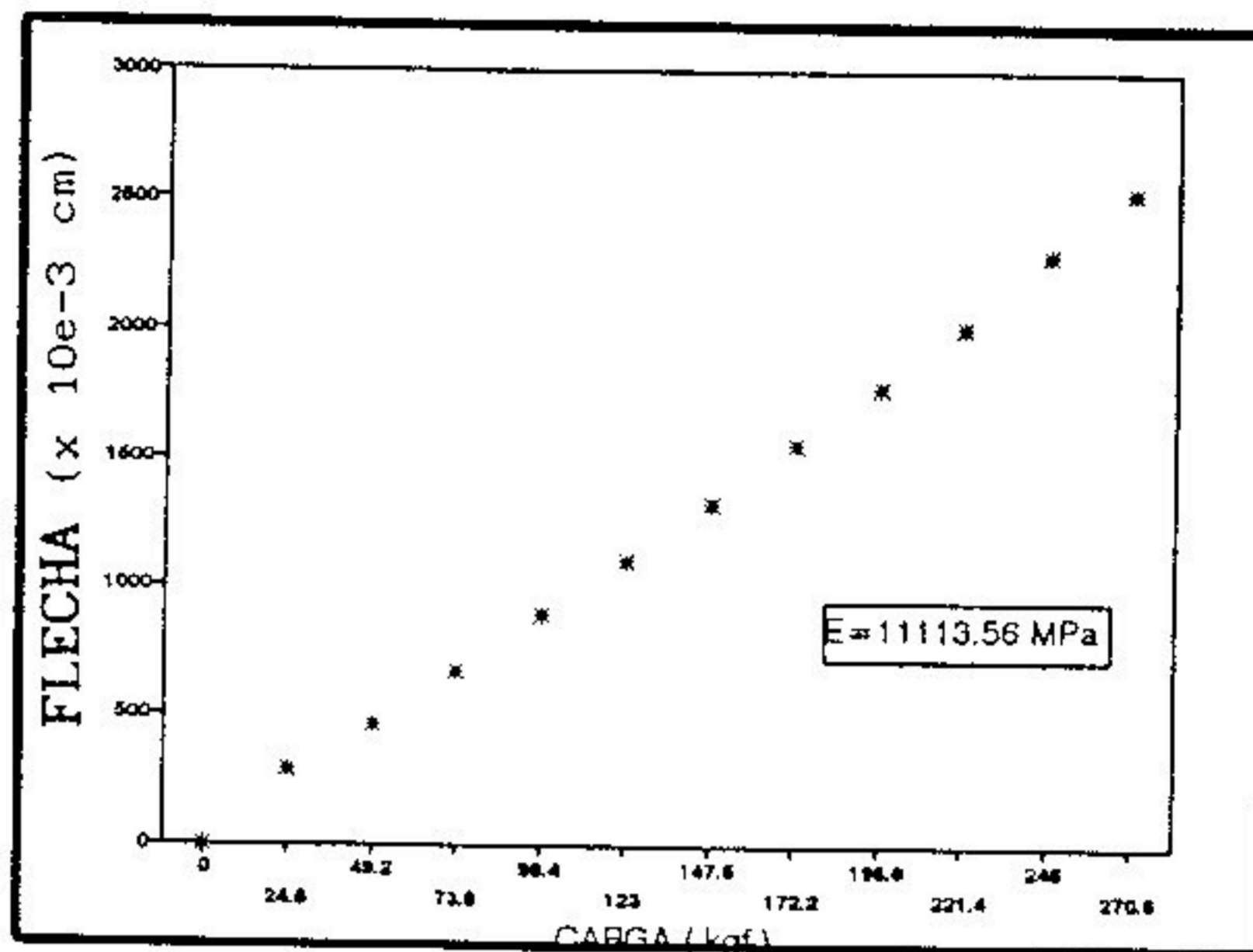


VIGA 1 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

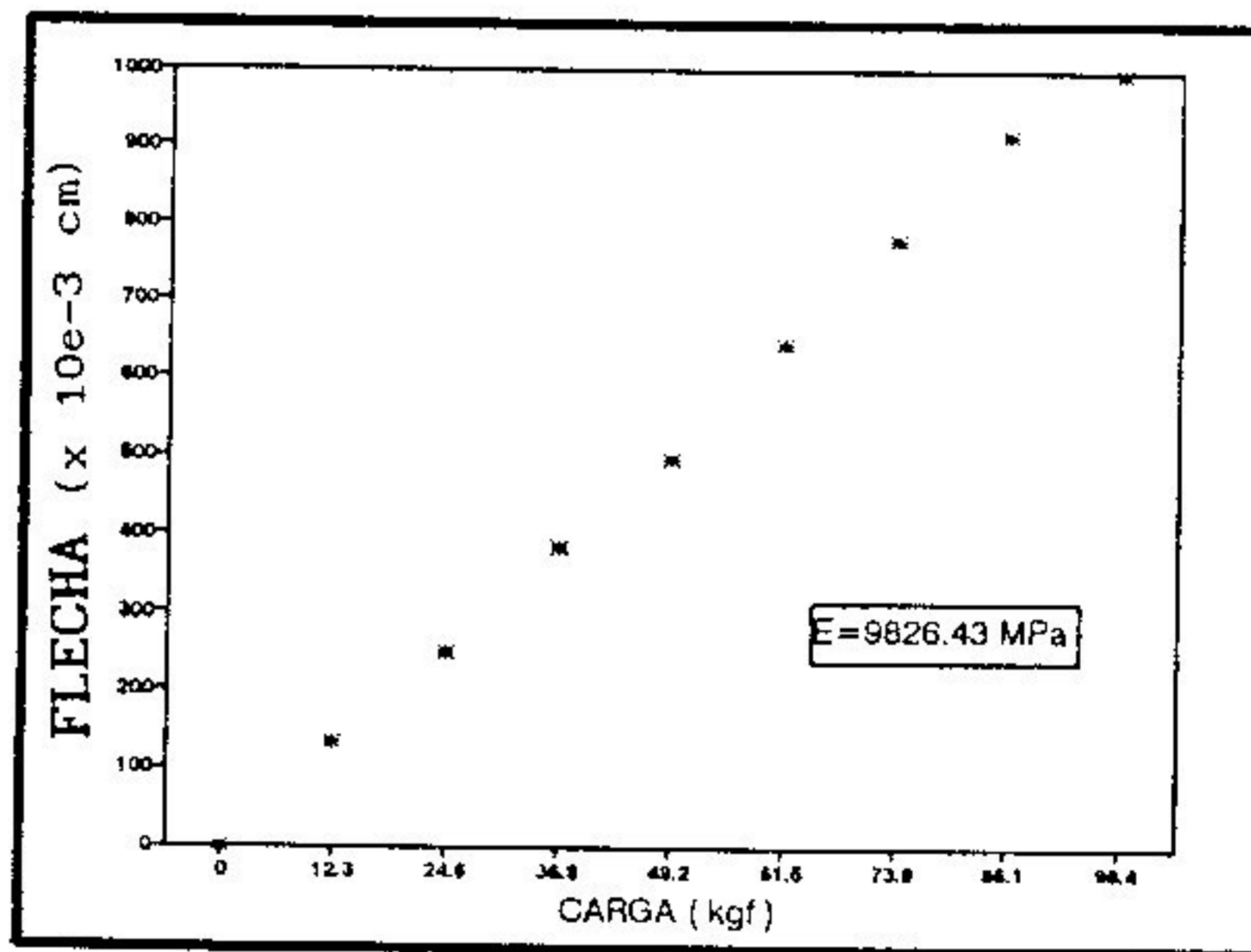
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
24.6	286
49.2	460
73.8	671
98.4	887
123	1101
147.6	1322
172.2	1555
196.8	1779
221.4	2009
246	2291
270.6	2536



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	133
24.6	249
36.9	382
49.2	497
61.5	644
73.8	780
86.1	915
98.4	997

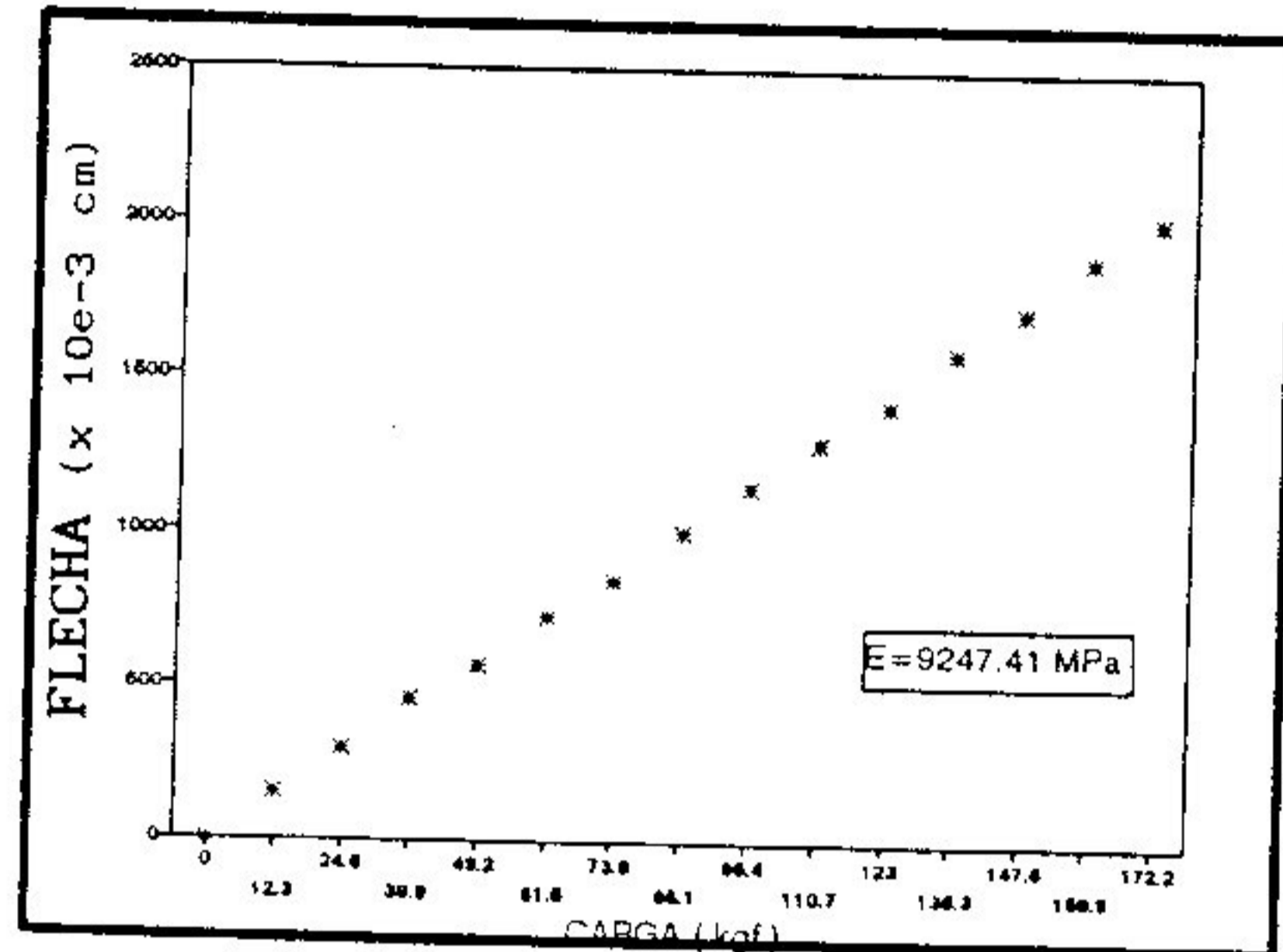


VIGA 2 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

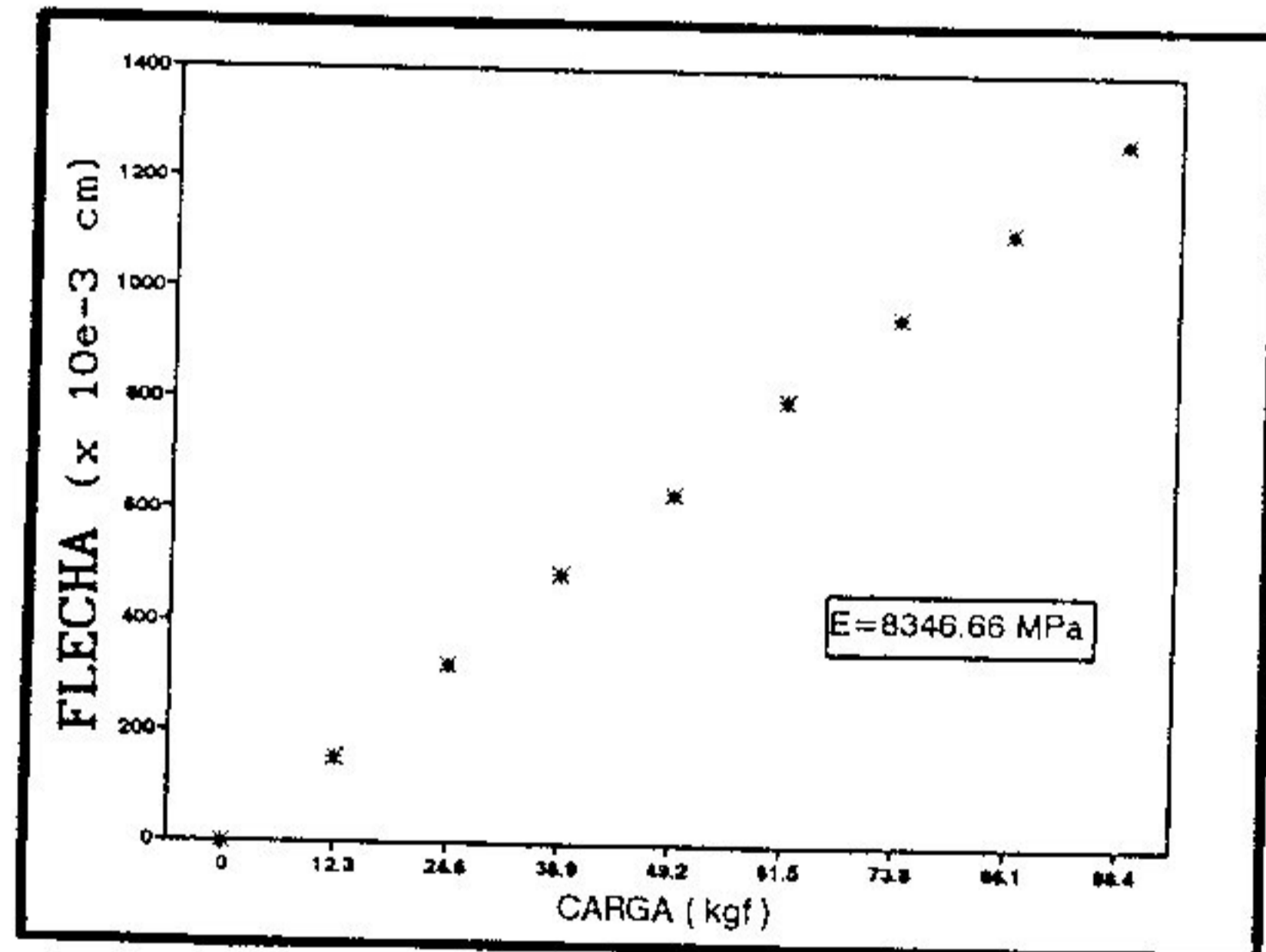
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	153
24.6	295
39.9	460
49.2	572
61.5	729
73.8	848
86.1	1005
98.4	1151
110.7	1295
123	1415
135.3	1587
147.6	1717
159.9	1889
172.2	2019



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	150
24.6	322
36.9	488
49.2	633
61.5	804
73.8	953
86.1	1111
98.4	1275

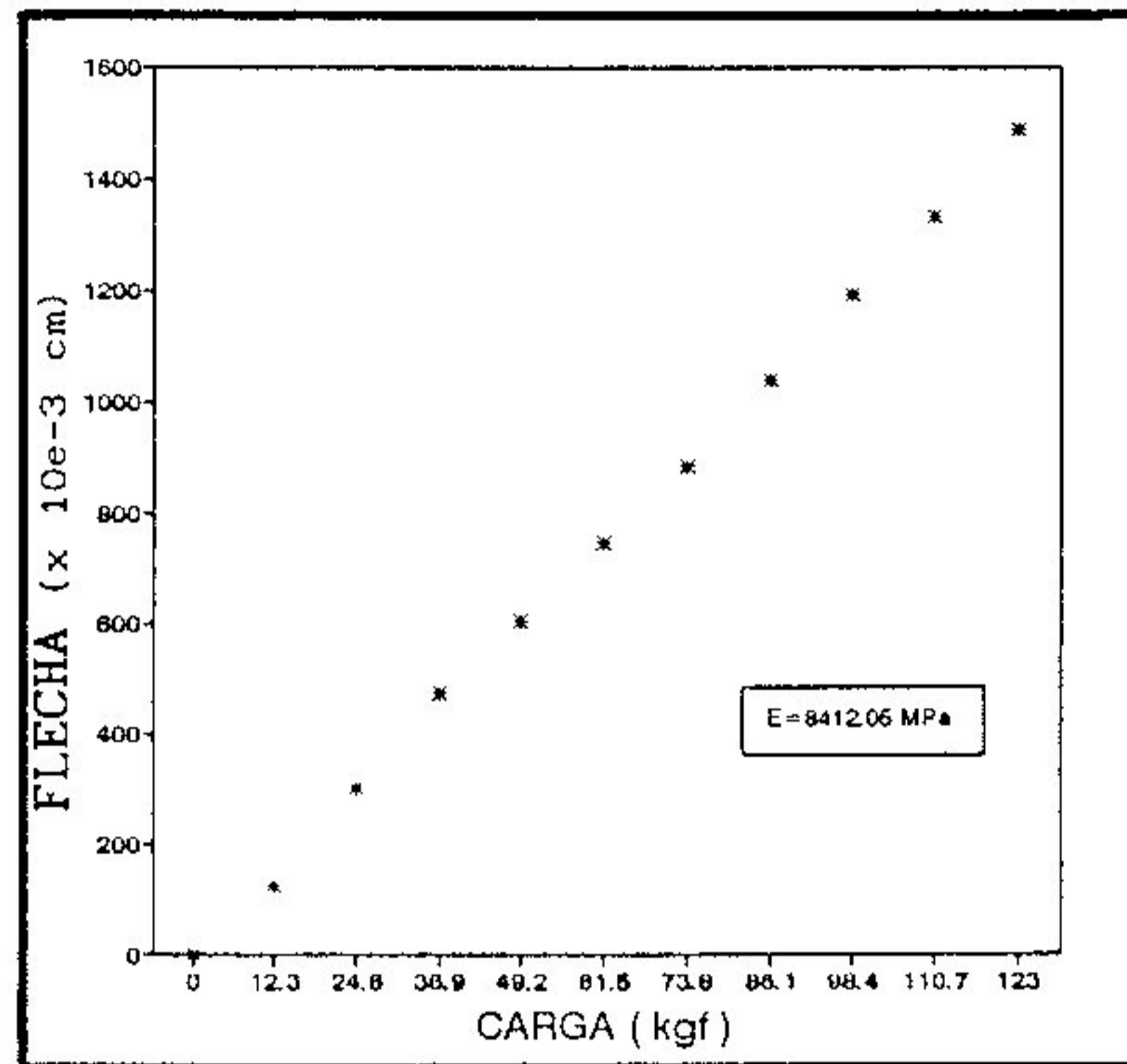


VIGA 2 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

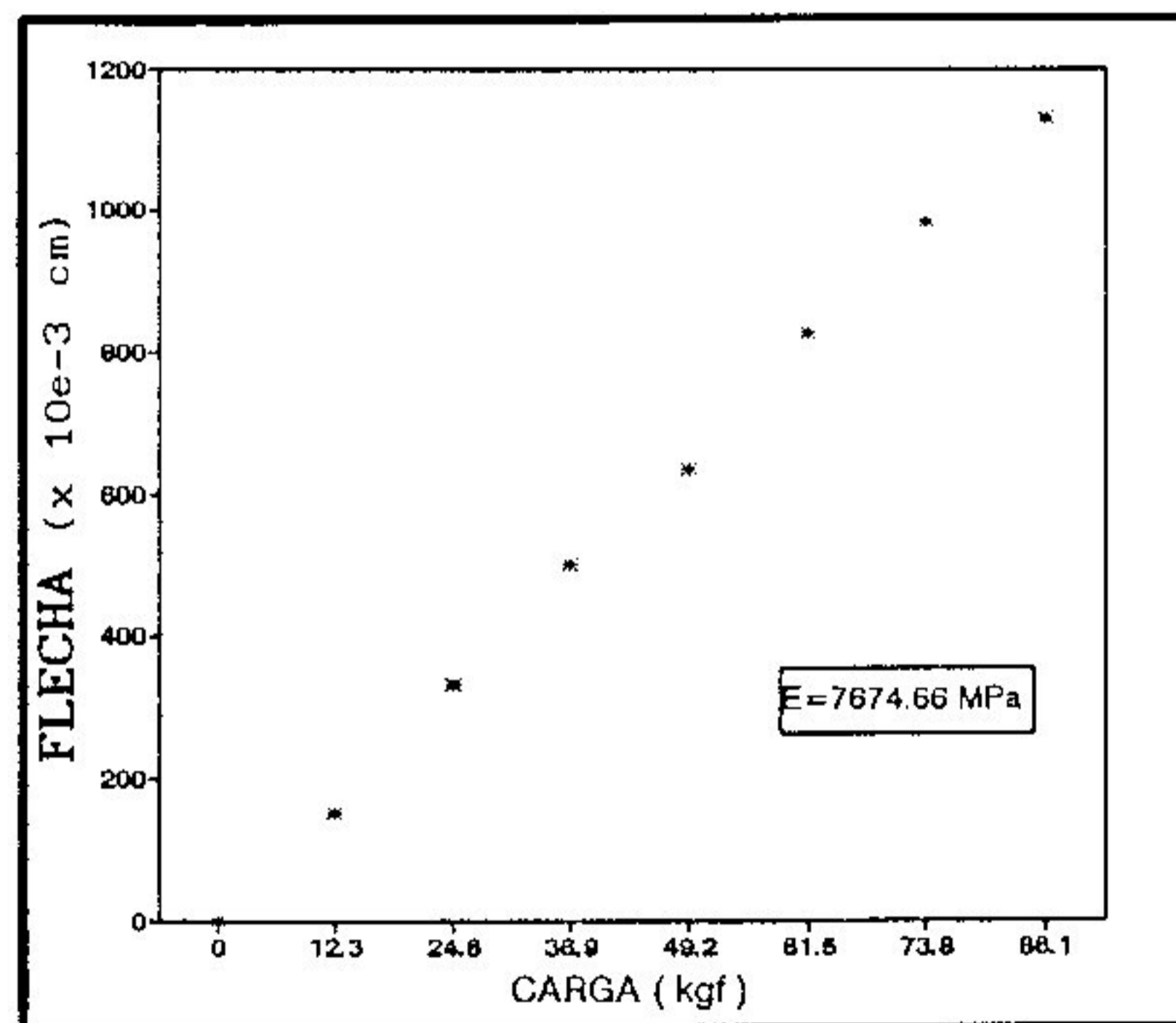
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	125
24.6	301
36.9	473
49.2	601
61.5	744
73.8	886
86.1	1037
98.4	1191
110.7	1331
123	1488



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	152
24.6	332
36.9	502
49.2	635
61.5	828
73.8	983
86.1	1129

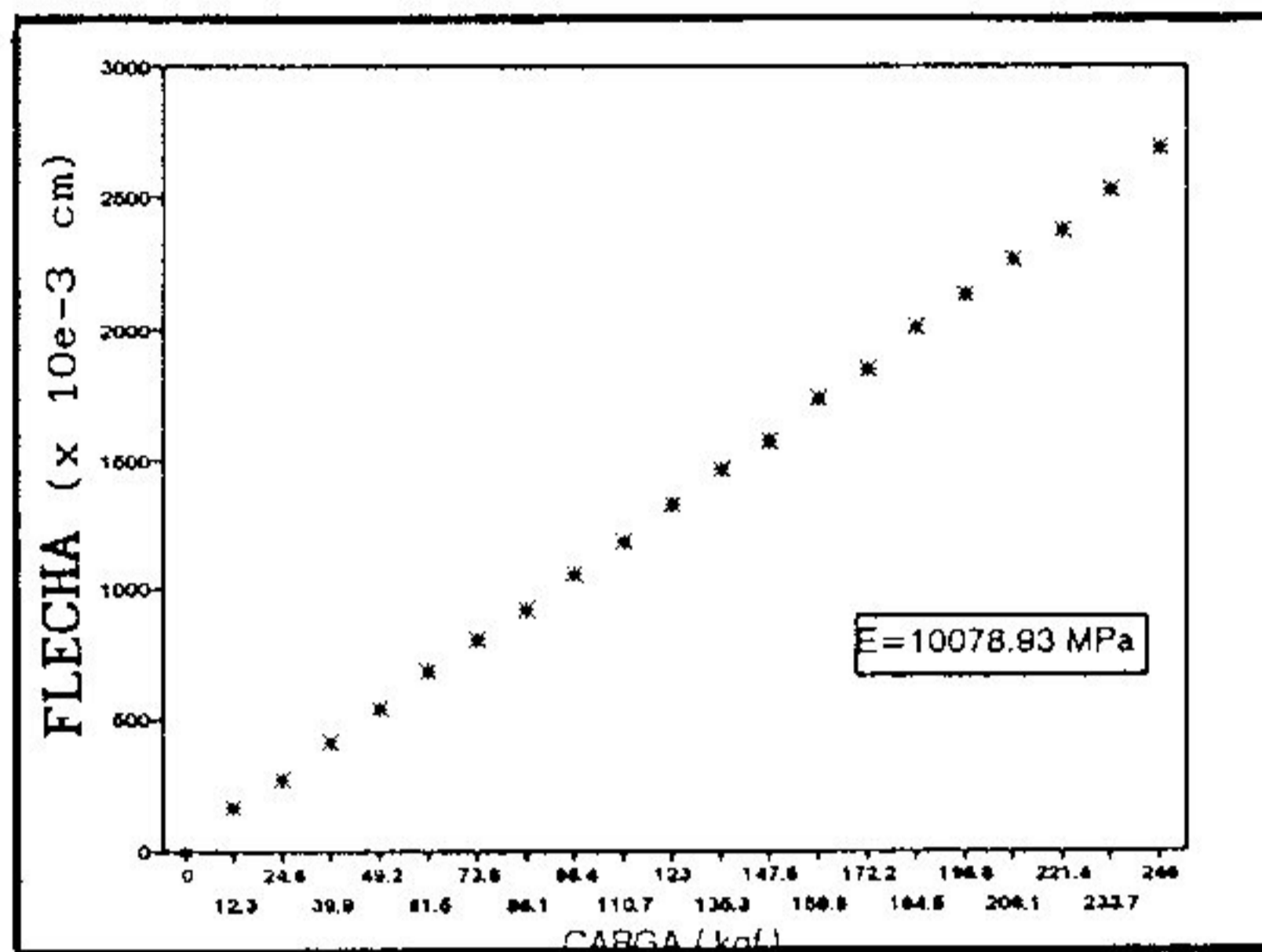


VIGA 3 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

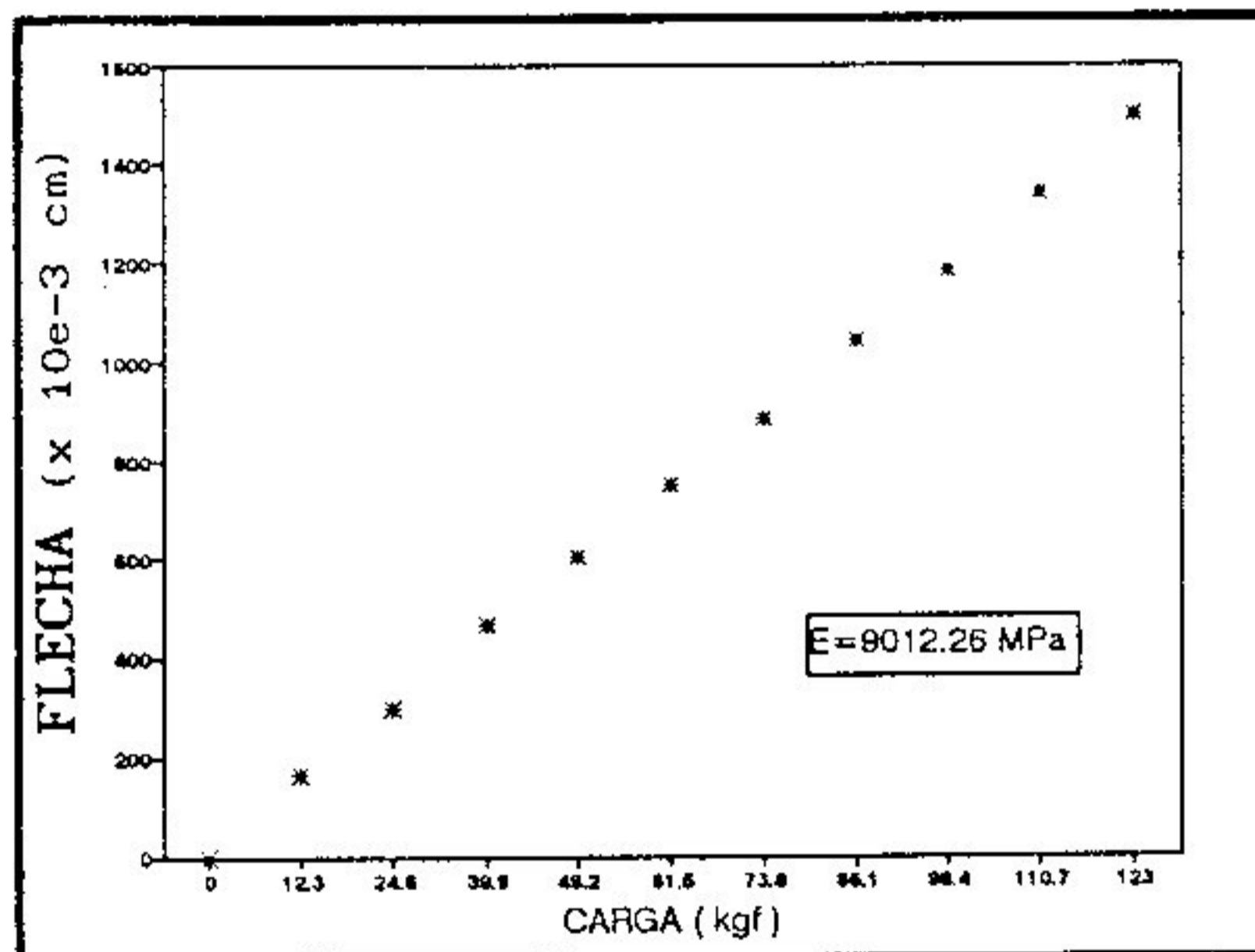
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	163
24.6	269
39.9	411
49.2	537
61.5	679
73.8	802
86.1	917
98.4	1054
110.7	1183
123	1327
135.3	1462
147.6	1577
159.9	1737
172.2	1849
184.5	2013
196.8	2137
209.1	2265
221.4	2375
233.7	2529
246	2687



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	161
24.6	294
39.9	465
49.2	604
61.5	750
73.8	885
86.1	1042
98.4	1182
110.7	1340
123	1497

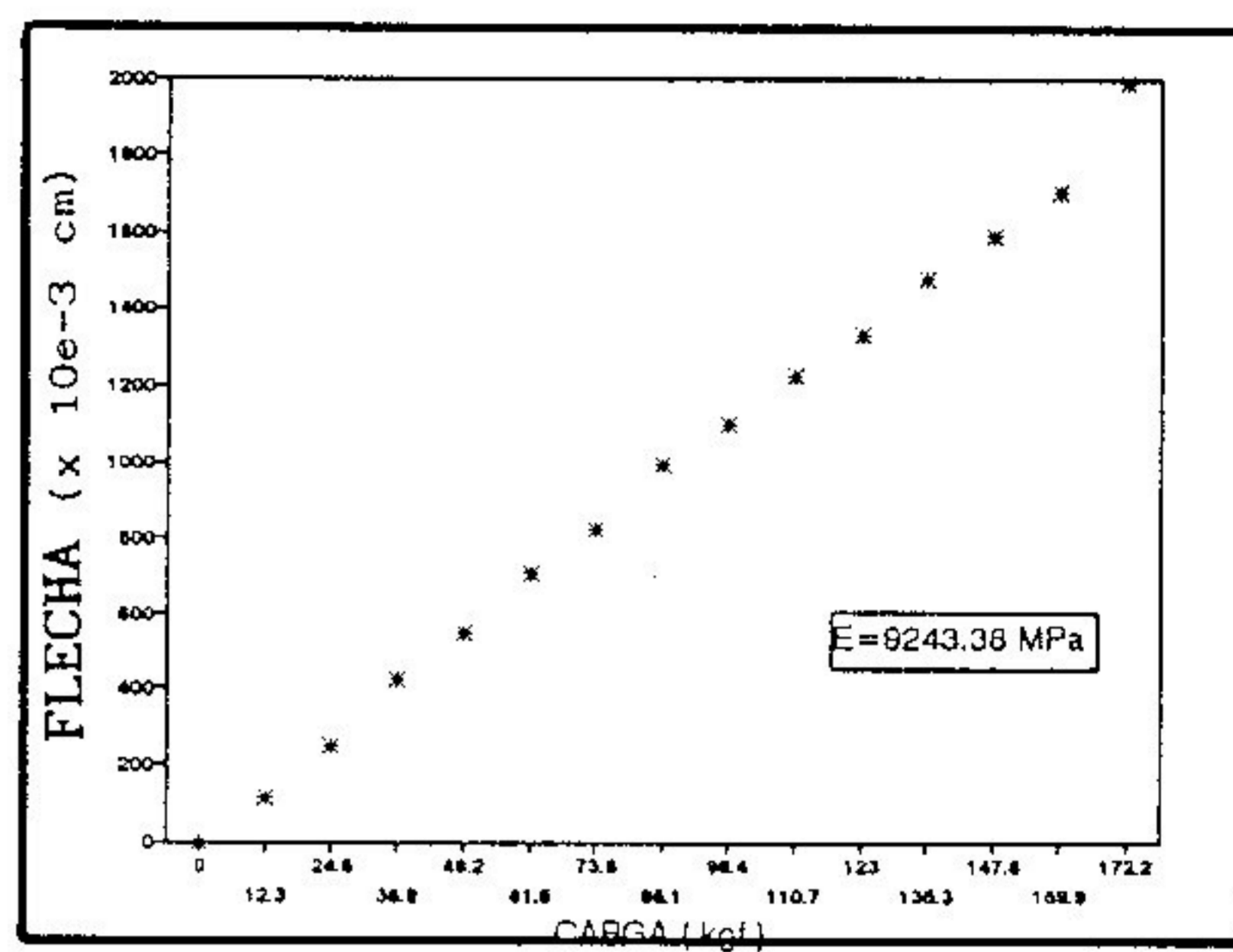


VIGA 3 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

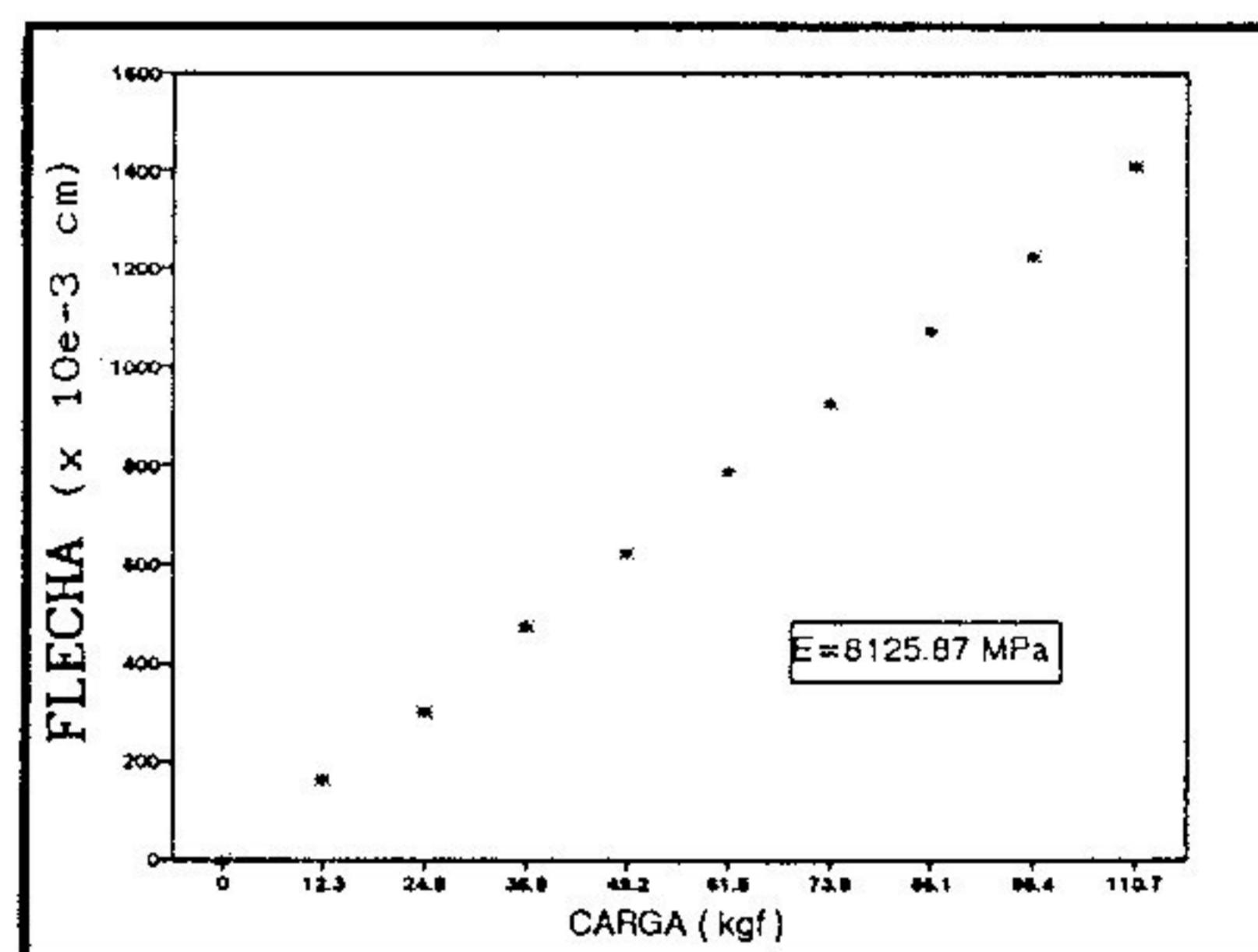
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	112
24.6	248
36.9	424
49.2	546
61.5	705
73.8	824
86.1	996
98.4	1100
110.7	1224
123	1334
135.3	1477
147.6	1588
159.9	1704
172.2	1989



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	159
24.6	297
36.9	475
49.2	623
61.5	789
73.8	927
86.1	1075
98.4	1226
110.7	1413

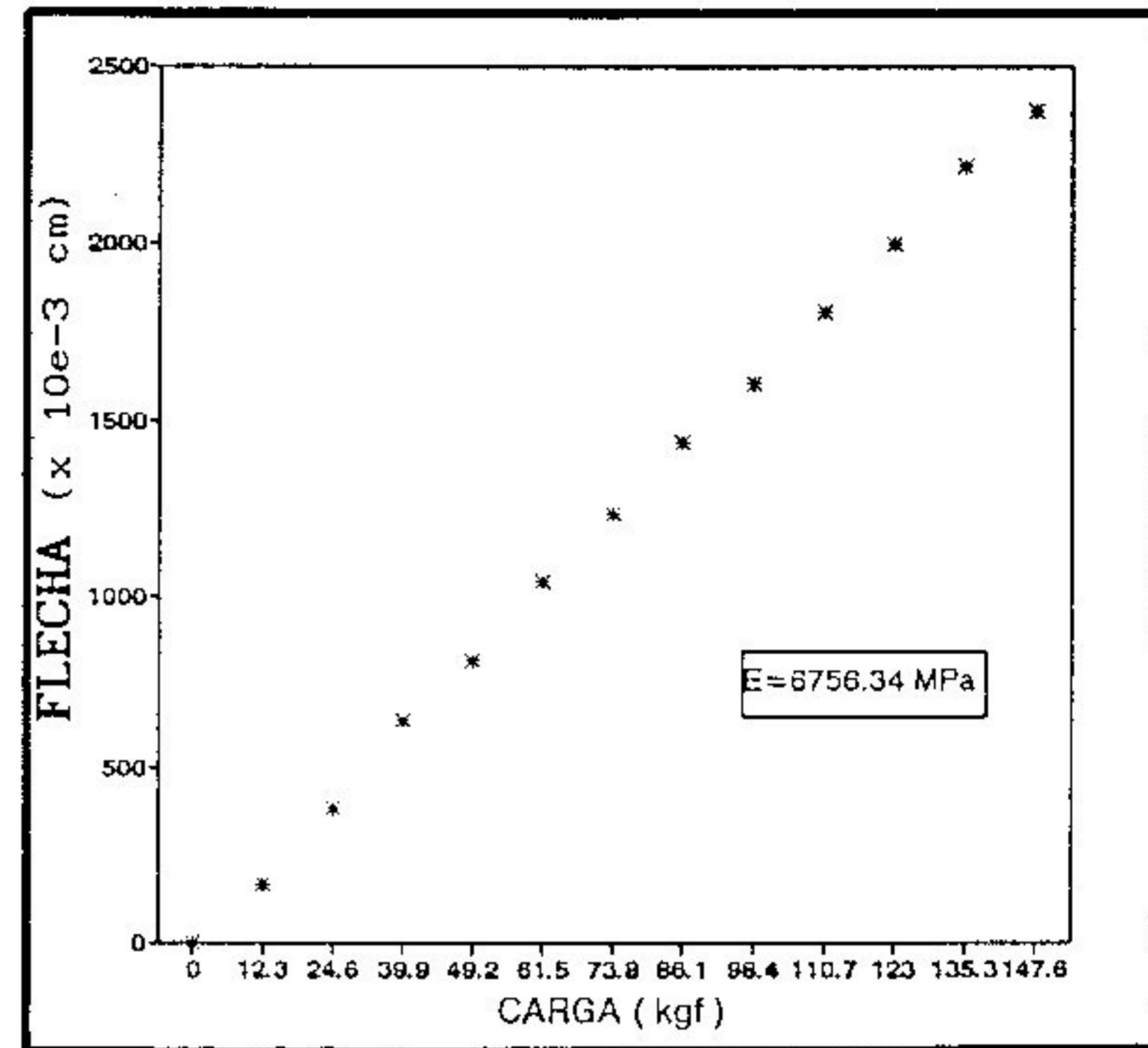


VIGA 5 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	166
24.6	383
39.9	640
49.2	813
61.5	1042
73.8	1238
86.1	1438
98.4	1605
110.7	1803
123	1995
135.3	2213
147.6	2373

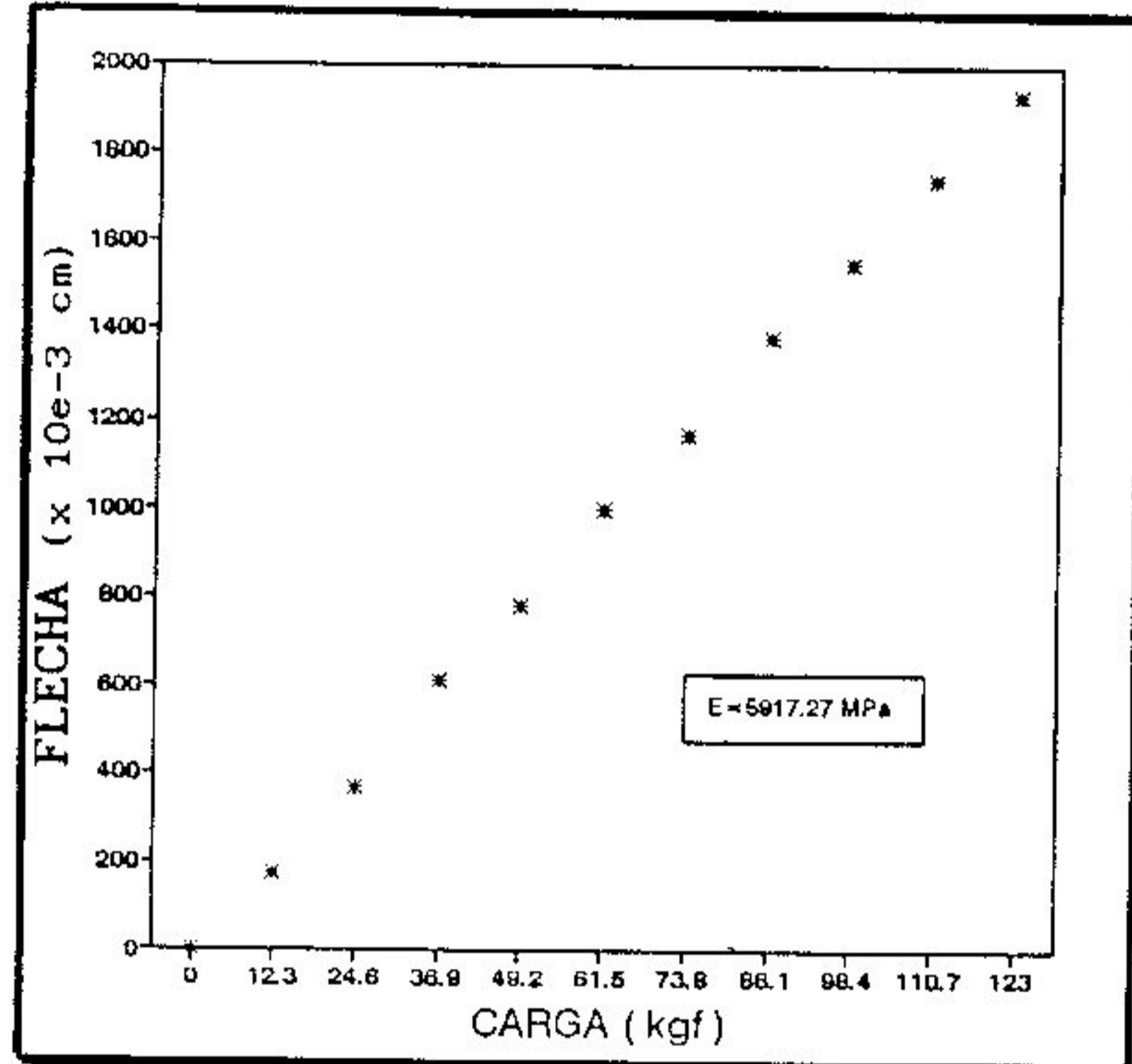


VIGA 5 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	174
24.6	367
36.9	612
49.2	780
61.5	997
73.8	1167
86.1	1385
98.4	1549
110.7	1743
123	1933

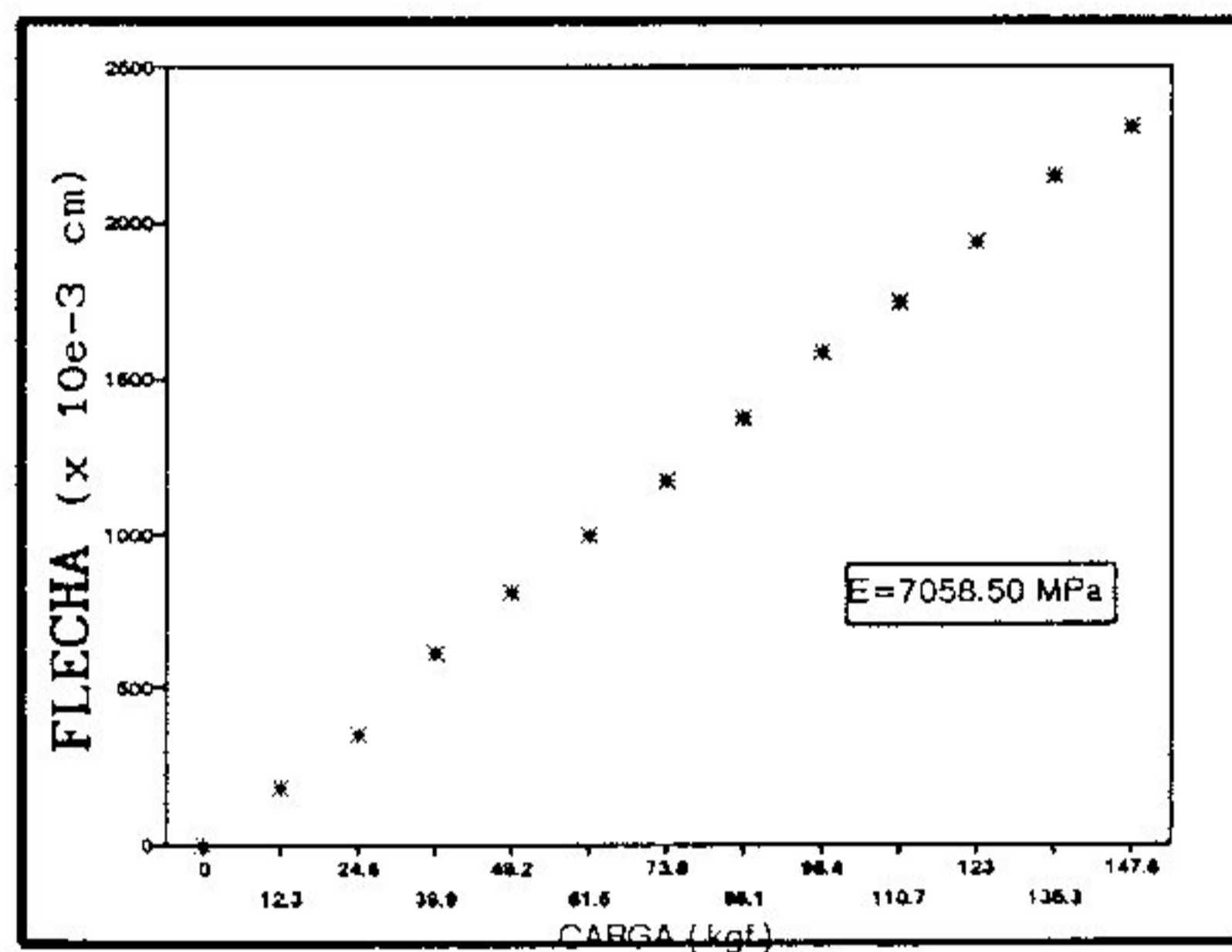


VIGA 6 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

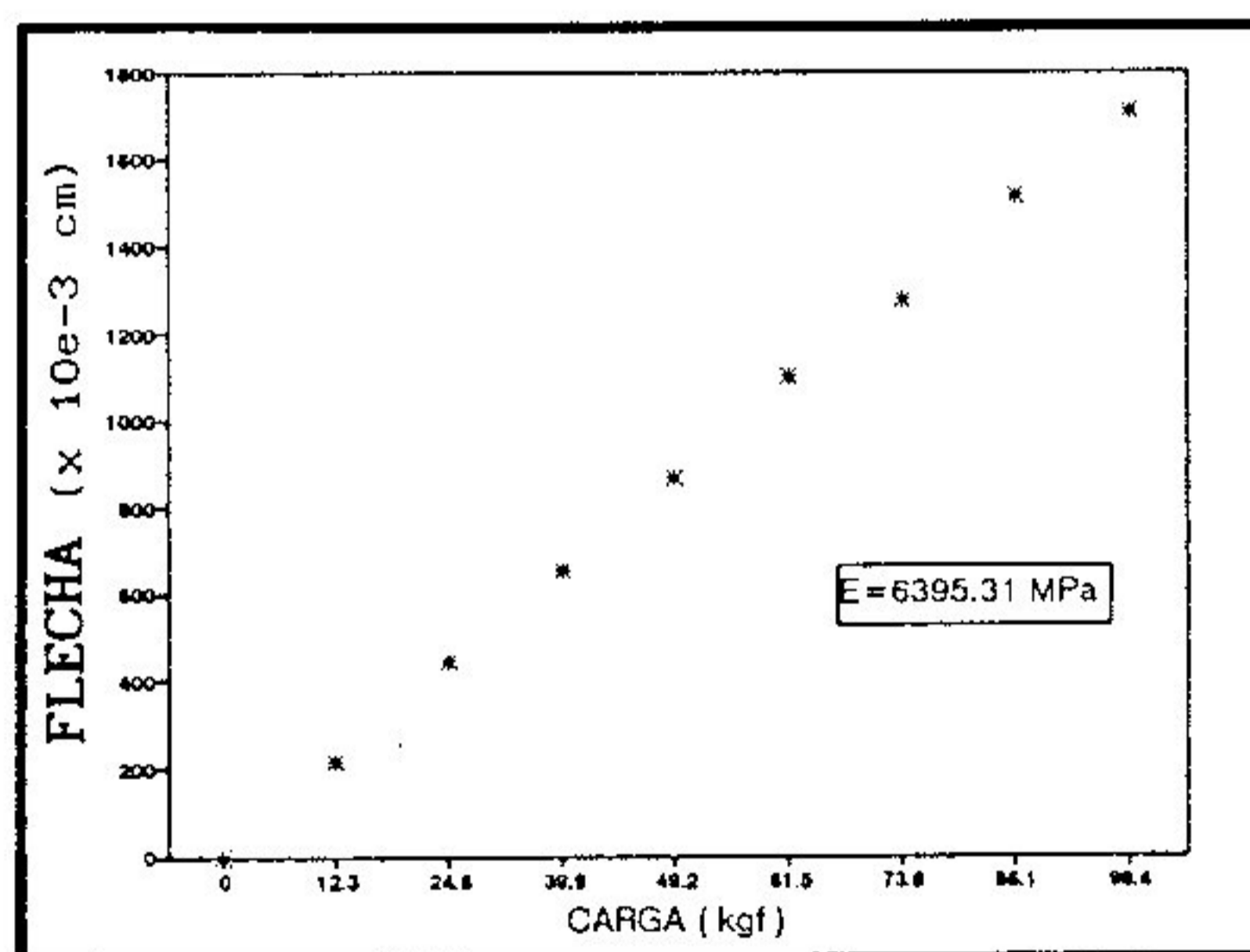
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	180
24.6	357
39.9	615
49.2	813
61.5	997
73.8	1169
86.1	1375
98.4	1587
110.7	1749
123	1933
135.3	2143
147.6	2304



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	218
24.6	445
39.9	653
49.2	866
61.5	1102
73.8	1275
86.1	1512
98.4	1712

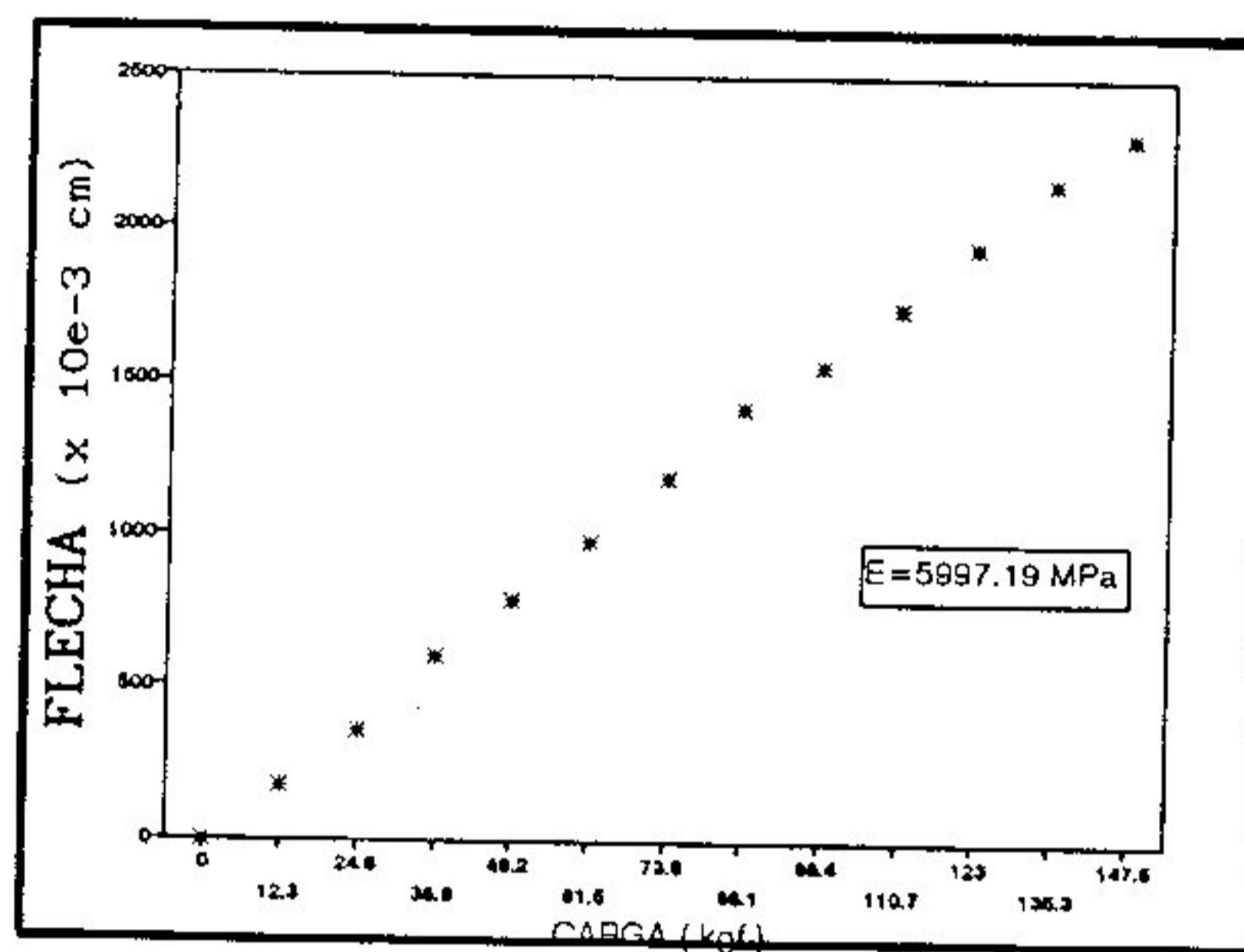


VIGA 6 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

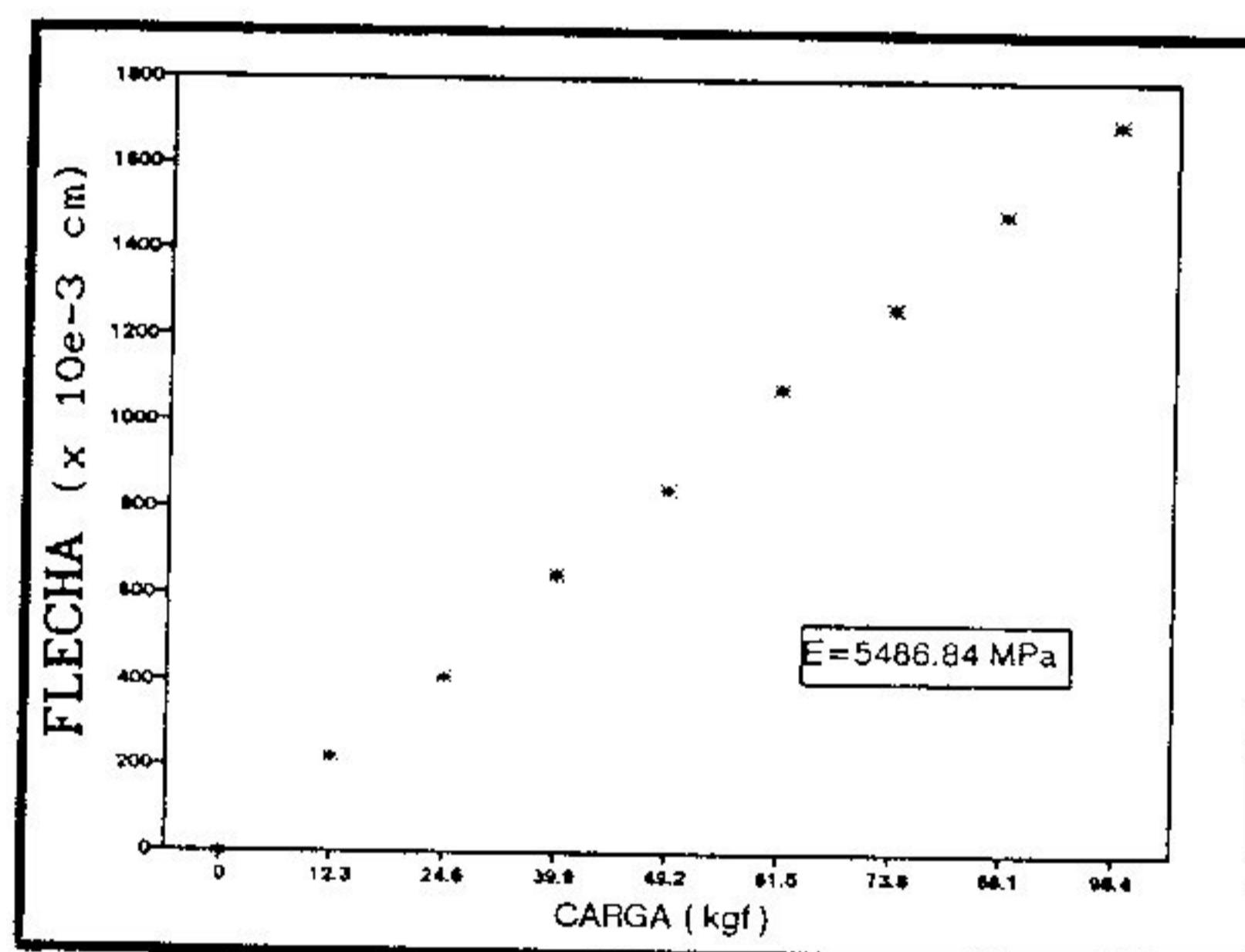
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	171
24.6	356
36.9	599
49.2	786
61.5	981
73.8	1185
86.1	1414
98.4	1554
110.7	1735
123	1936
135.3	2148
147.6	2303



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	220
24.6	410
39.9	647
49.2	843
61.5	1080
73.8	1267
86.1	1490
98.4	1702

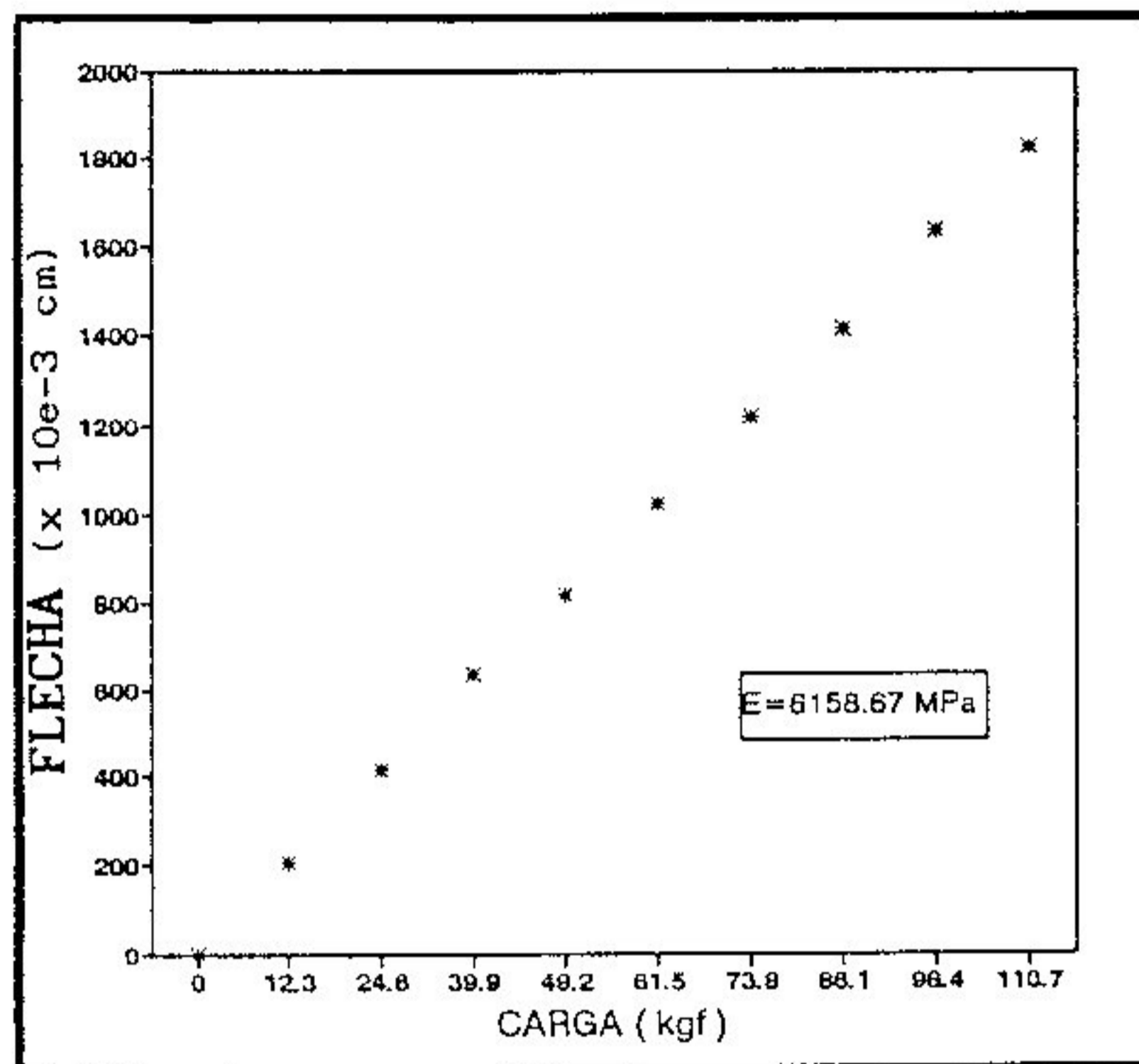


VIGA 7 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

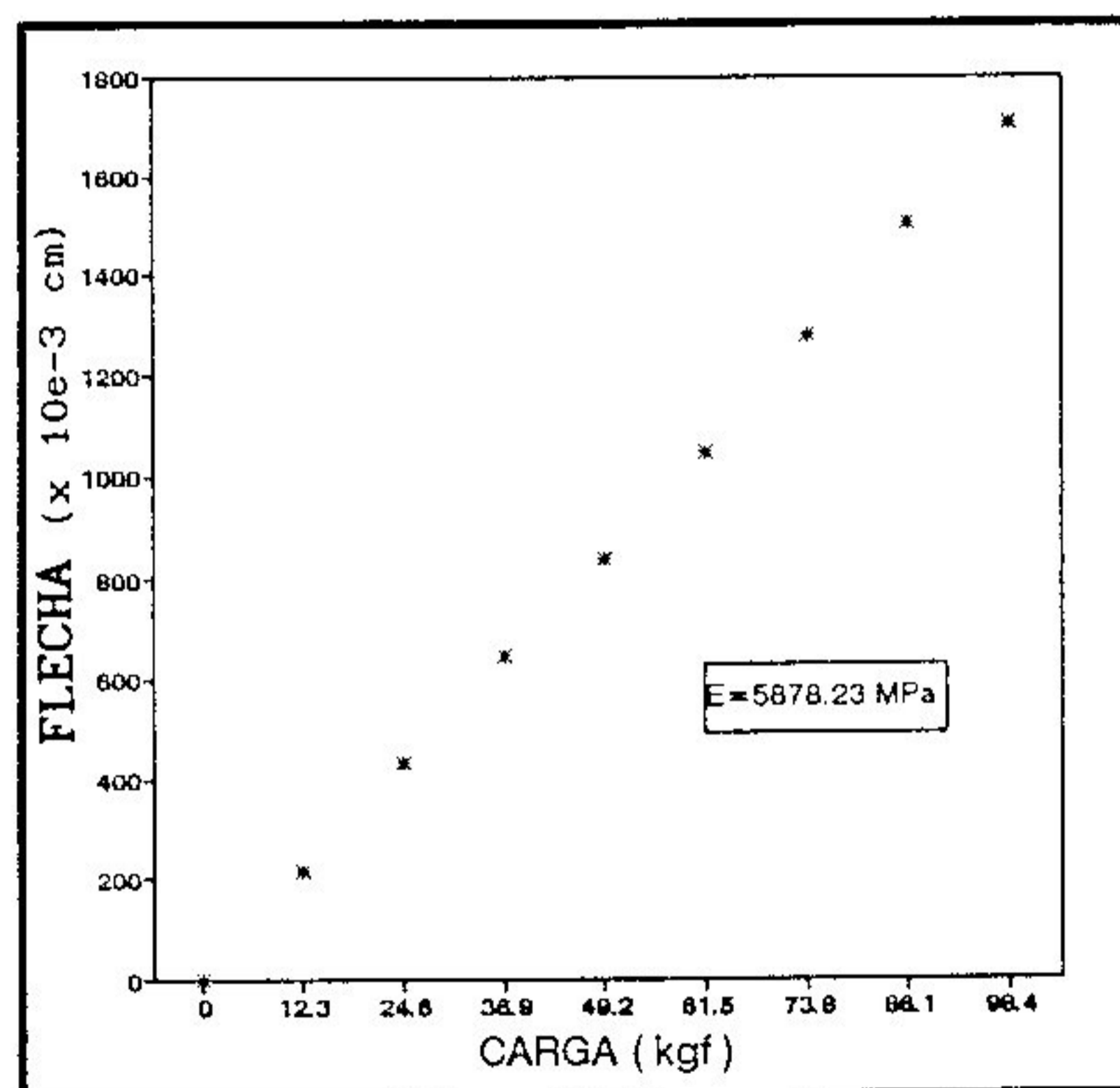
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	207
24.6	415
39.9	633
49.2	816
61.5	1025
73.8	1220
86.1	1414
98.4	1636
110.7	1824



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	214
24.6	434
36.9	648
49.2	837
61.5	1047
73.8	1278
86.1	1504
98.4	1704

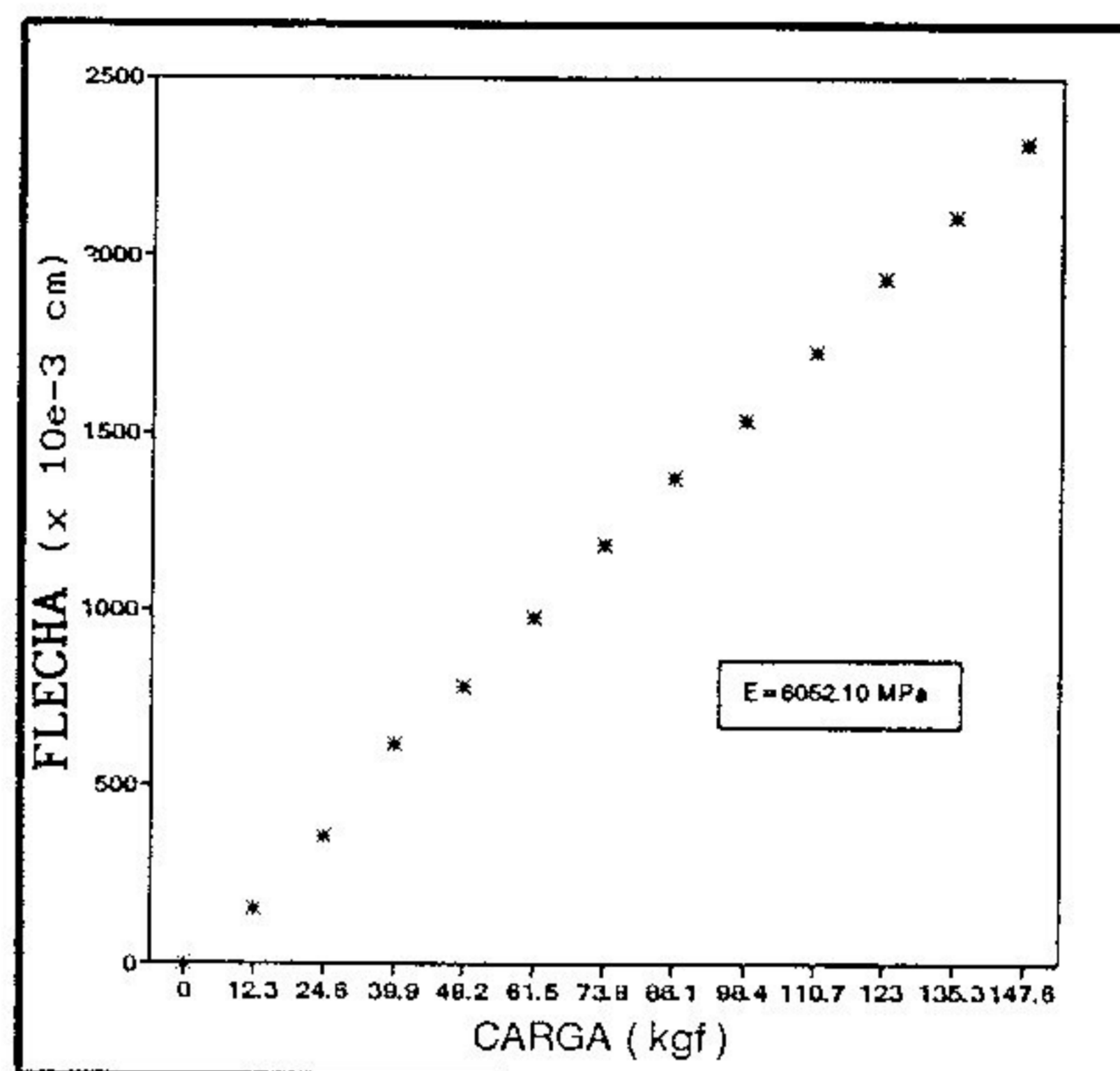


VIGA 7 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

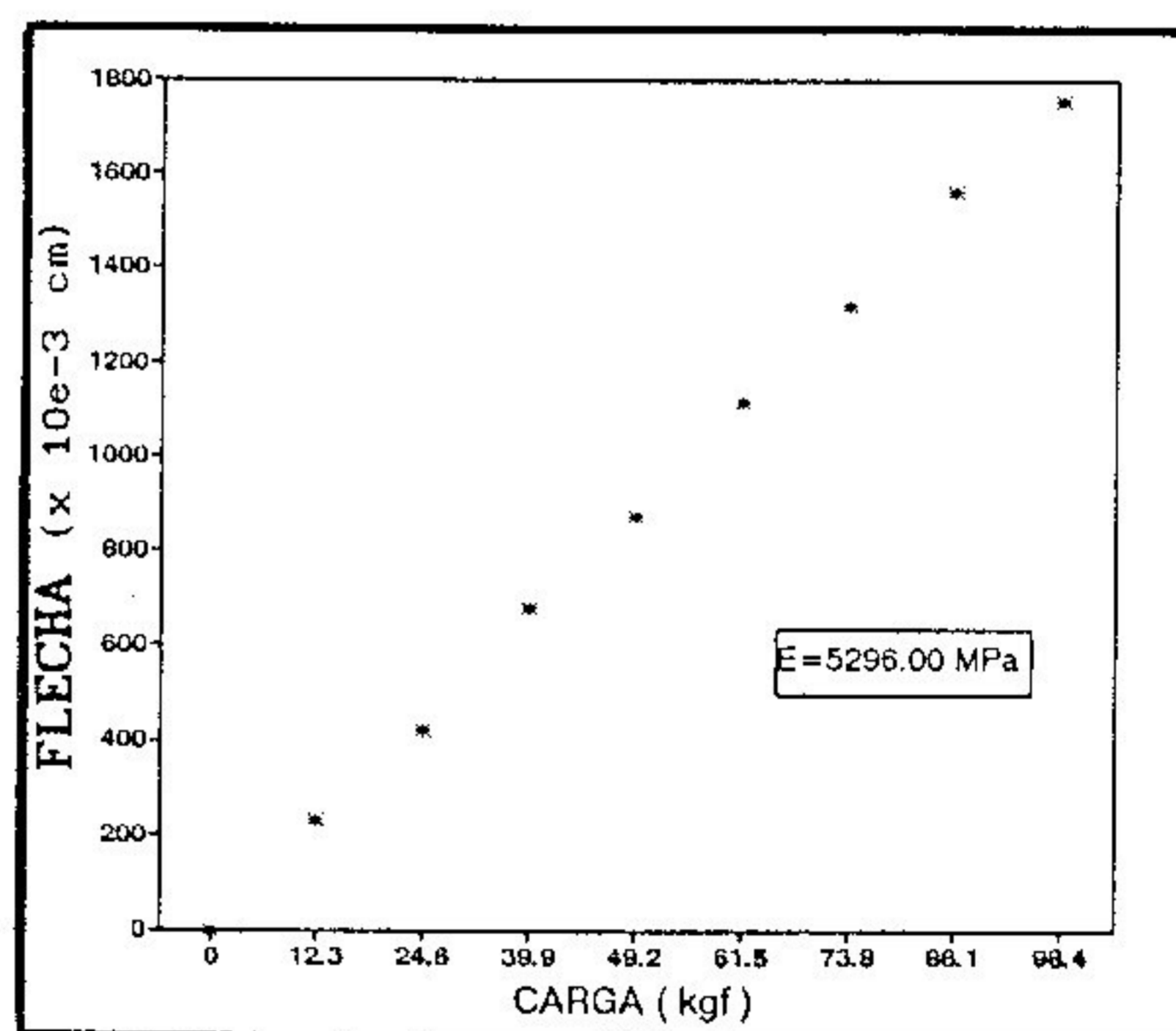
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	155
24.6	357
39.9	619
49.2	782
61.5	979
73.8	1188
86.1	1374
98.4	1535
110.7	1728
123	1932
135.3	2109
147.6	2313



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	230
24.6	419
39.9	678
49.2	872
61.5	1115
73.8	1323
86.1	1562
98.4	1754

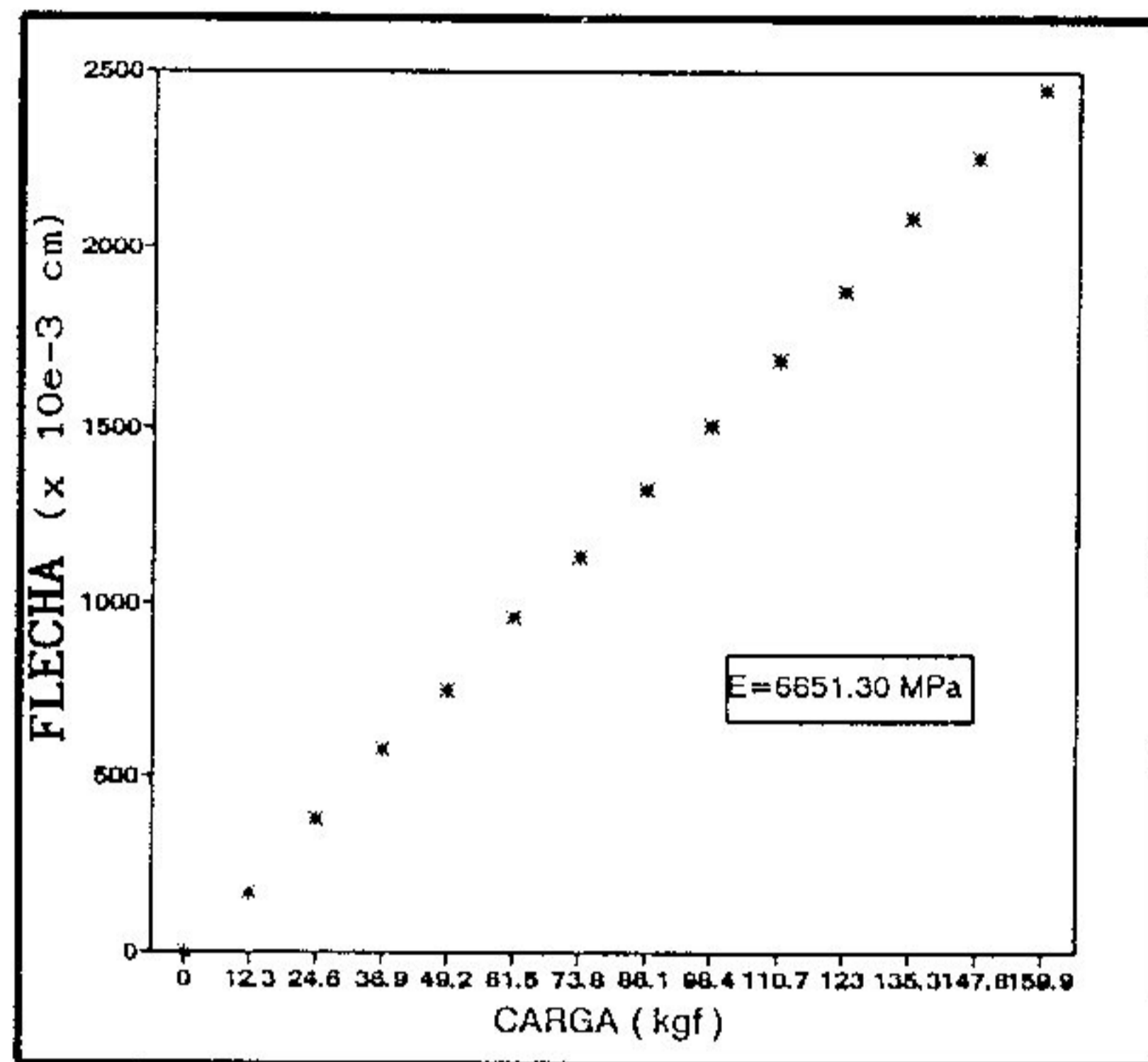


VIGA 8 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

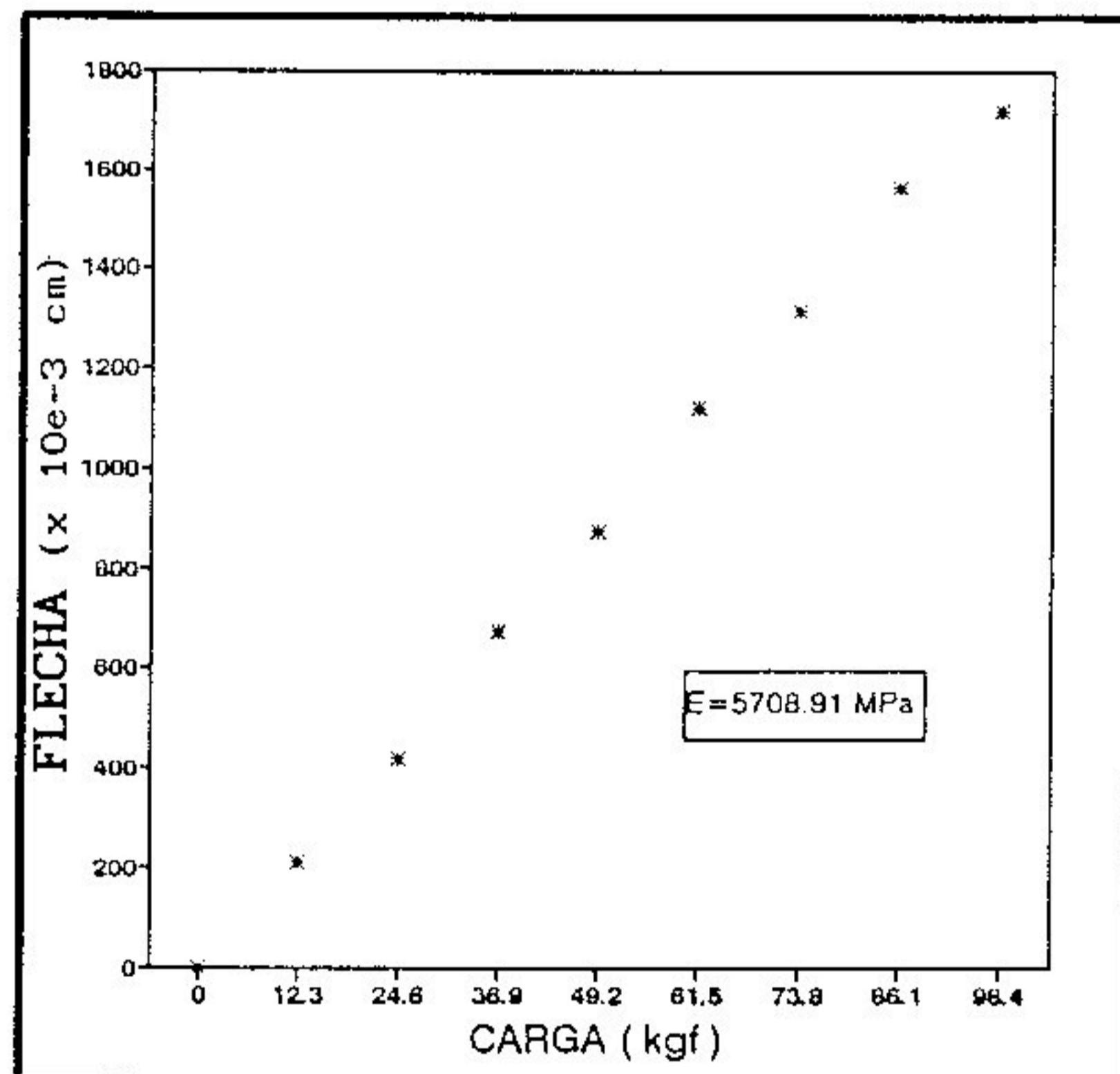
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	168
24.6	378
36.9	580
49.2	751
61.5	961
73.8	1135
86.1	1324
98.4	1503
110.7	1691
123	1881
135.3	2085
147.6	2256
159.9	2449



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	212
24.6	421
36.9	675
49.2	875
61.5	1121
73.8	1316
86.1	1564
98.4	1719

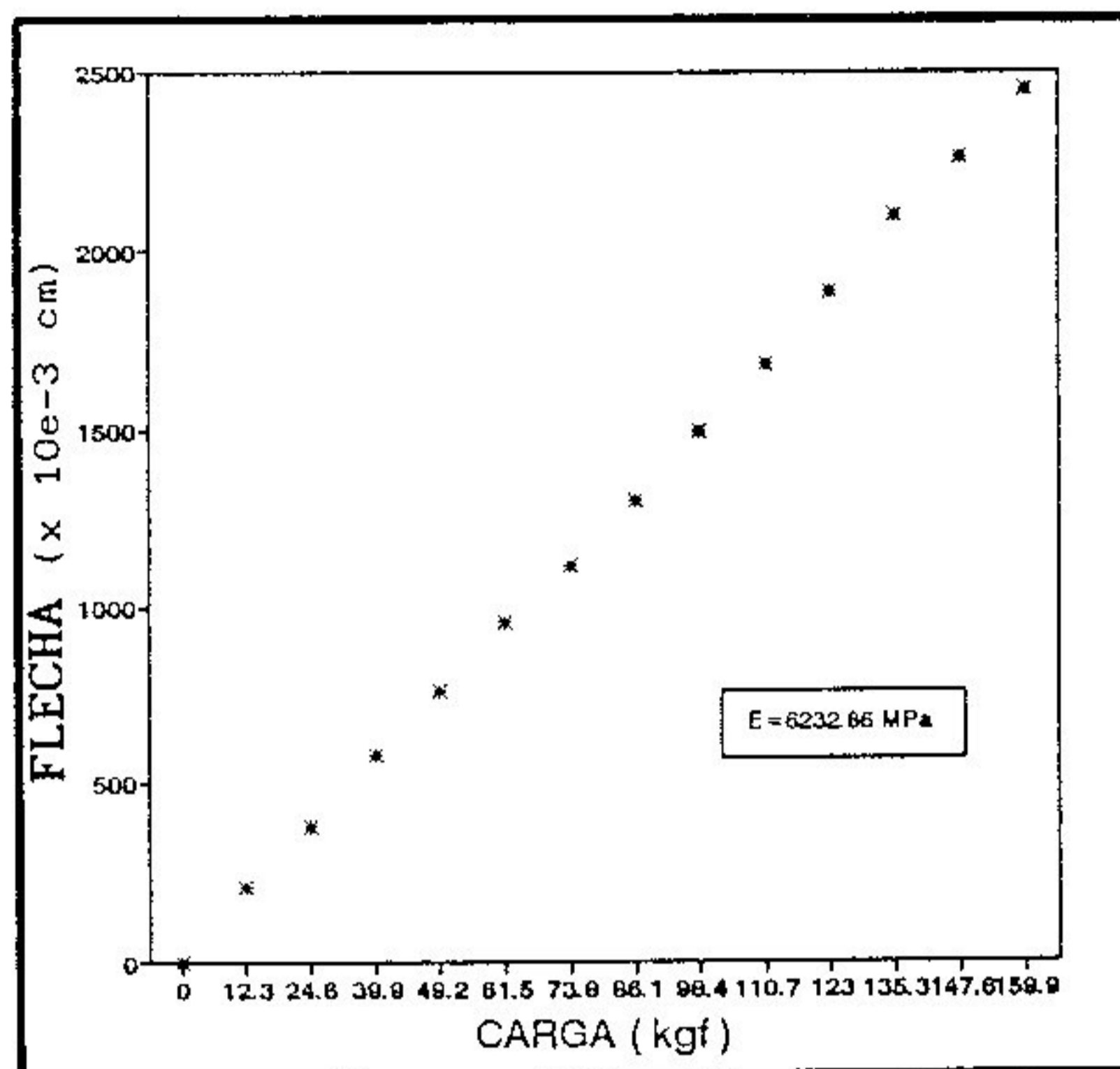


VIGA 8 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

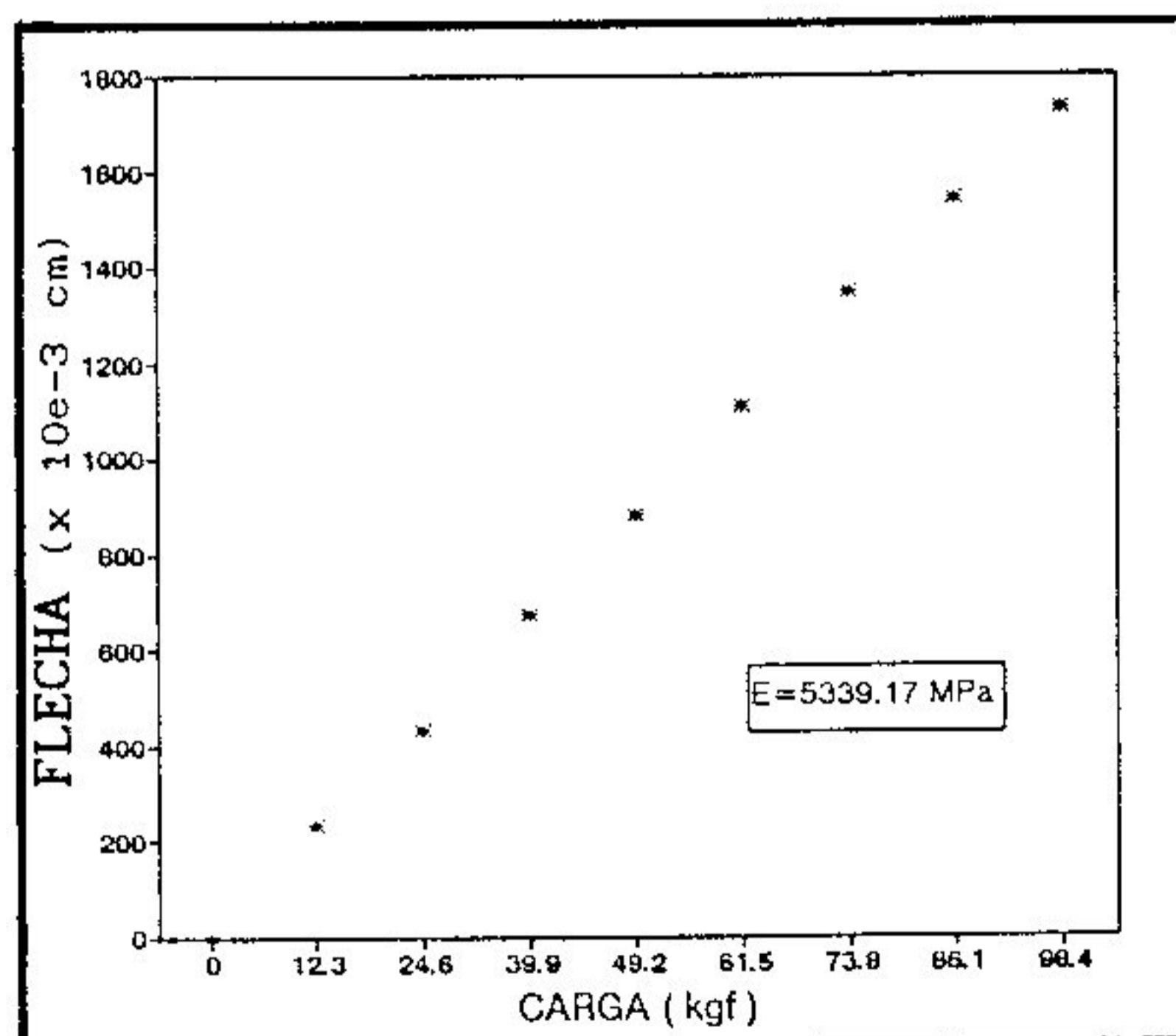
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	211
24.6	378
39.9	582
49.2	761
61.5	961
73.8	1117
86.1	1301
98.4	1495
110.7	1683
123	1880
135.3	2095
147.6	2259
159.9	2450



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	232
24.6	433
39.9	675
49.2	882
61.5	1108
73.8	1347
86.1	1545
98.4	1731

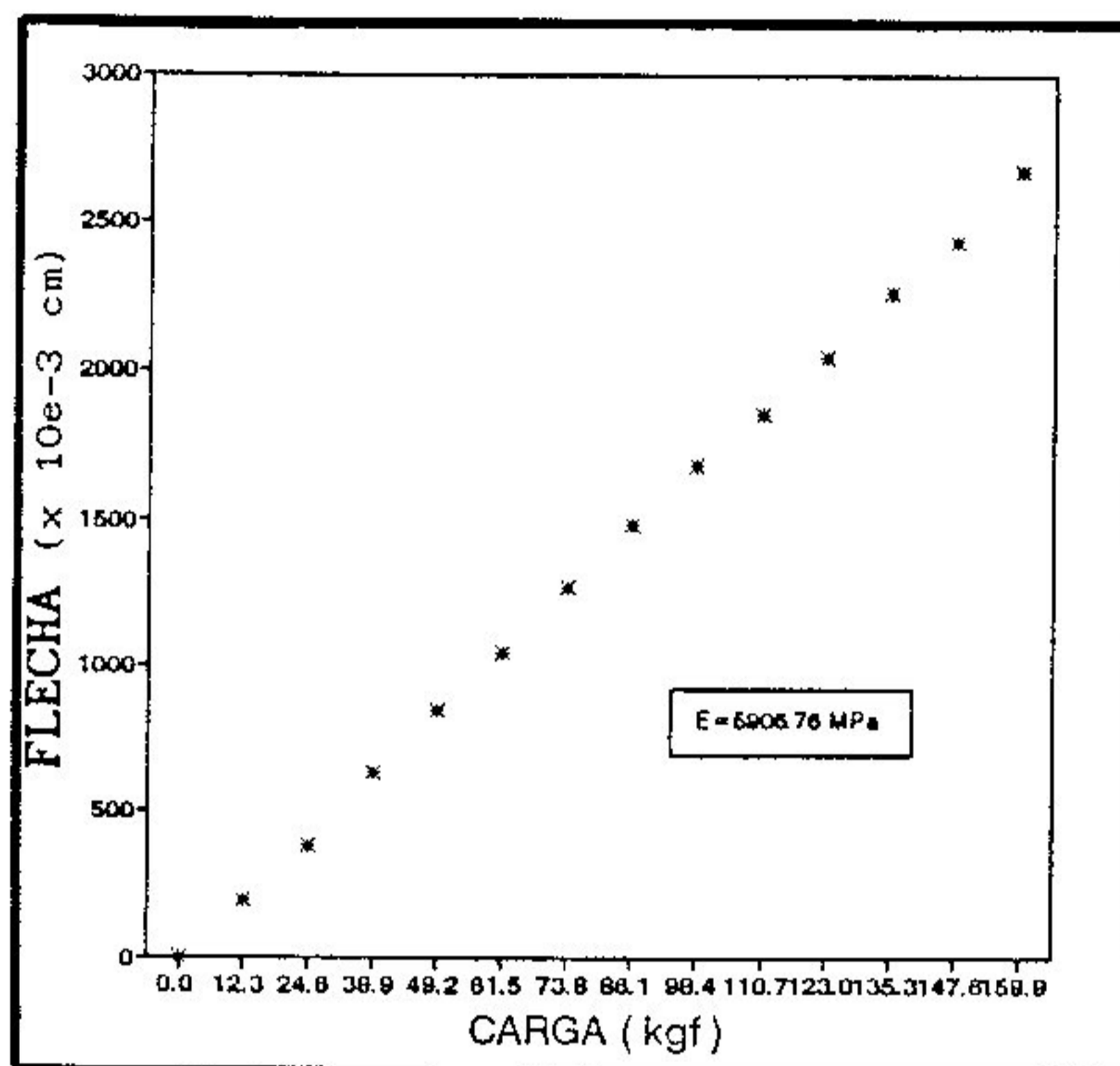


VIGA 9 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

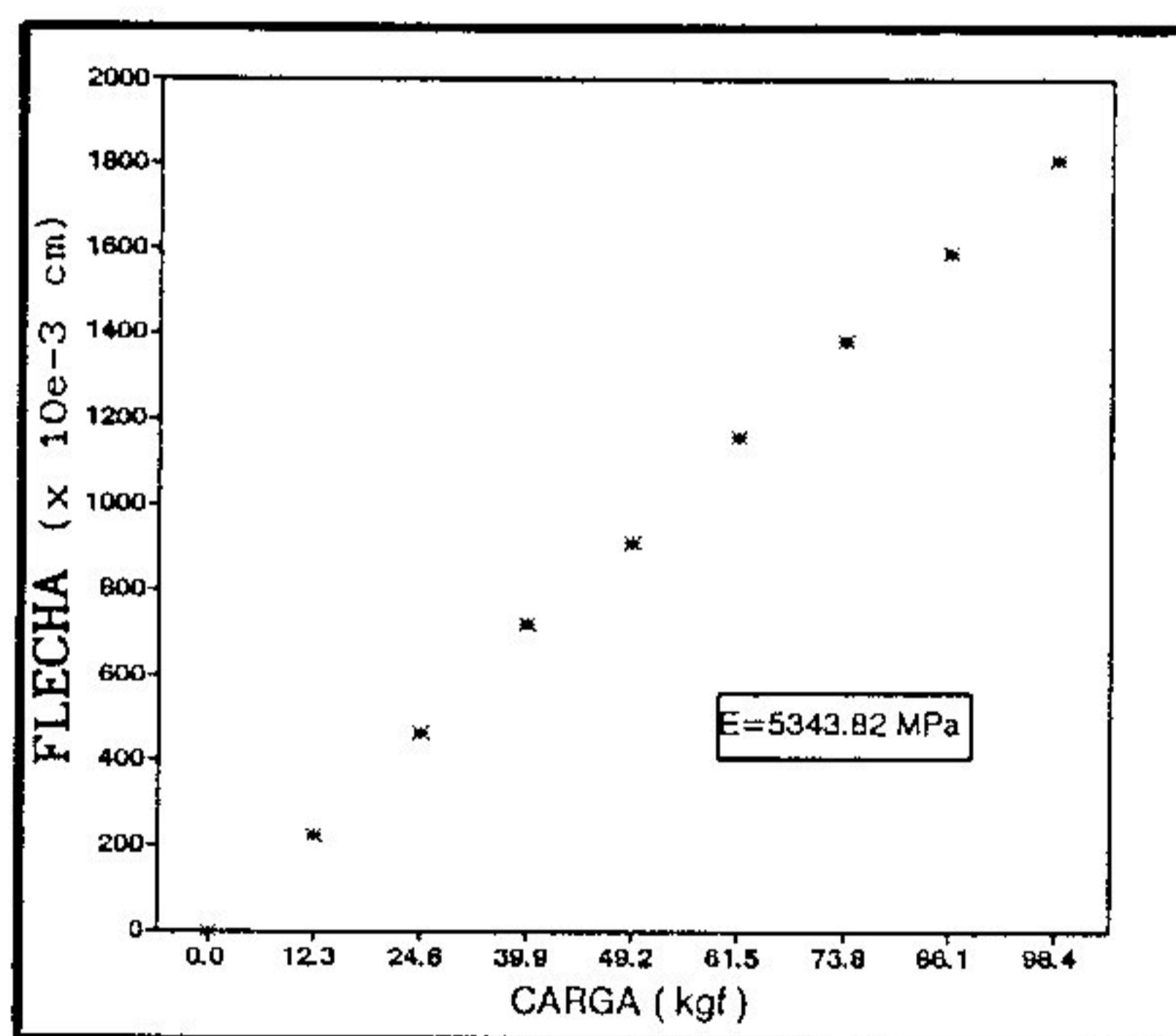
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0.0	0
12.3	193
24.6	383
39.9	630
49.2	844
61.5	1043
73.8	1267
86.1	1482
98.4	1685
110.7	1851
123.0	2045
135.3	2258
147.6	2431
159.9	2674



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0.0	0
12.3	224
24.6	462
39.9	719
49.2	911
61.5	1156
73.8	1381
86.1	1589
98.4	1810

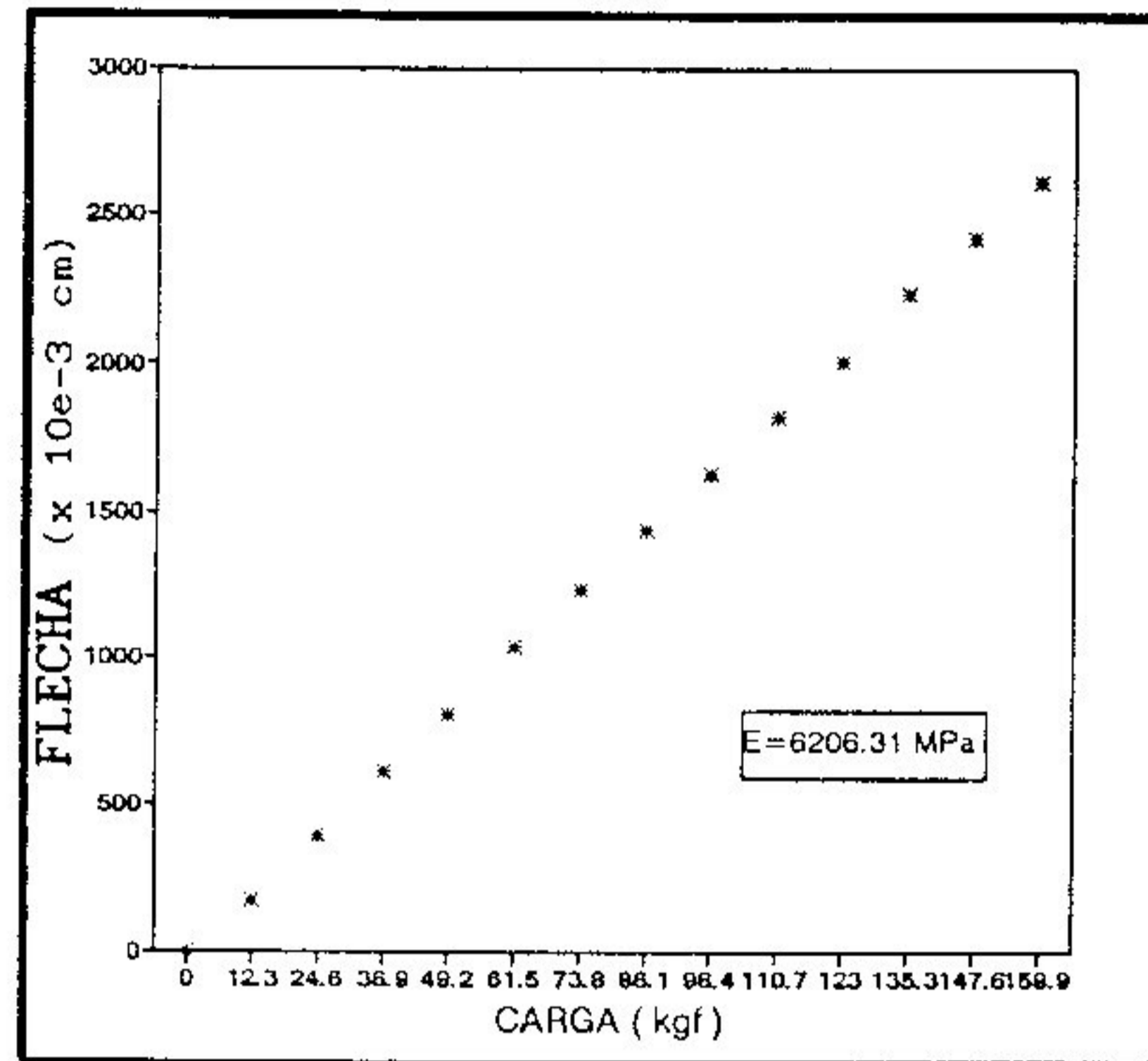


VIGA 9 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

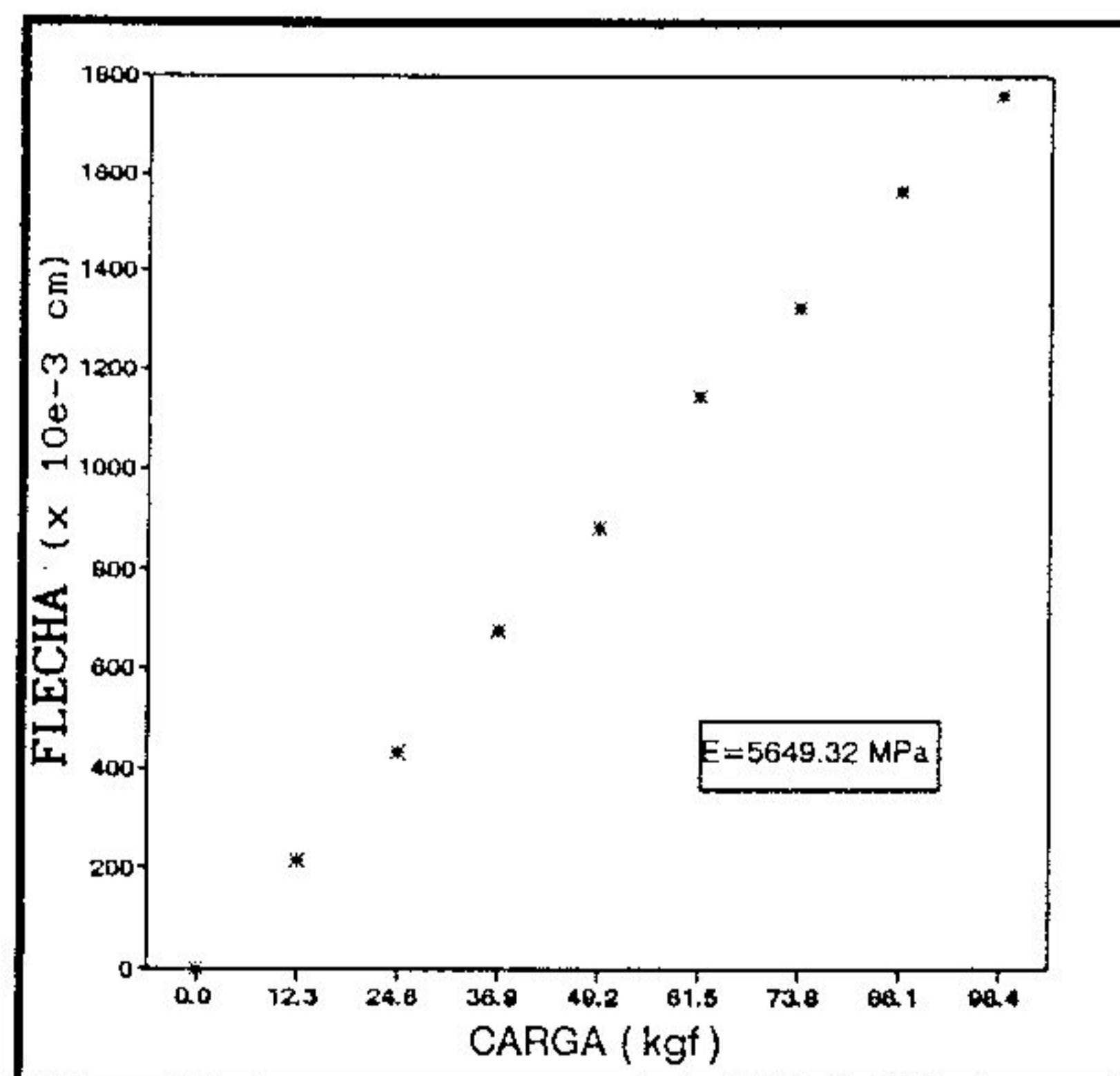
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	170
24.6	394
36.9	610
49.2	804
61.5	1040
73.8	1236
86.1	1437
98.4	1627
110.7	1820
123	2004
135.3	2234
147.6	2421
159.9	2611



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0.0	0
12.3	214
24.6	435
36.9	678
49.2	884
61.5	1145
73.8	1325
86.1	1564
98.4	1760

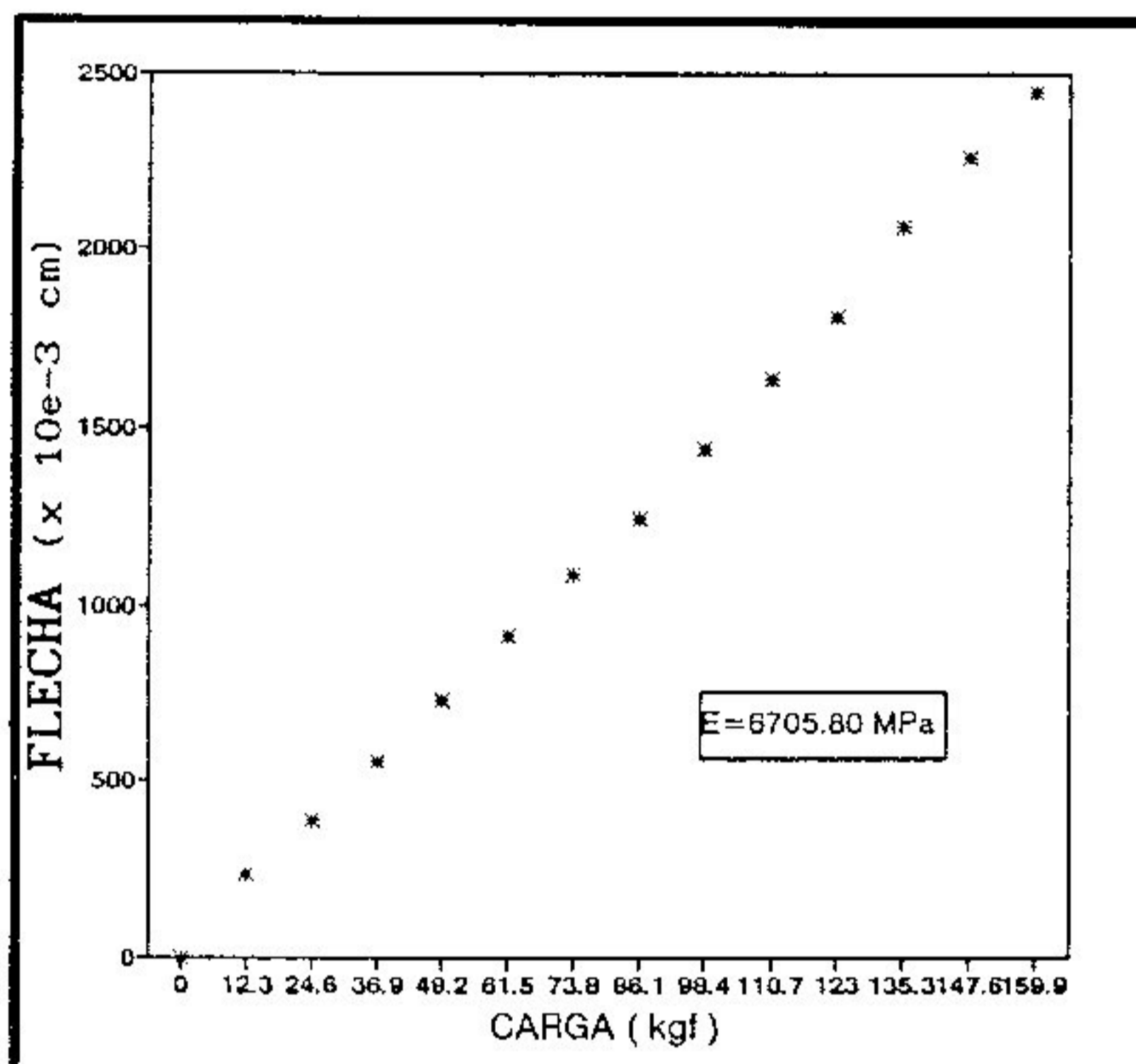


VIGA 10 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

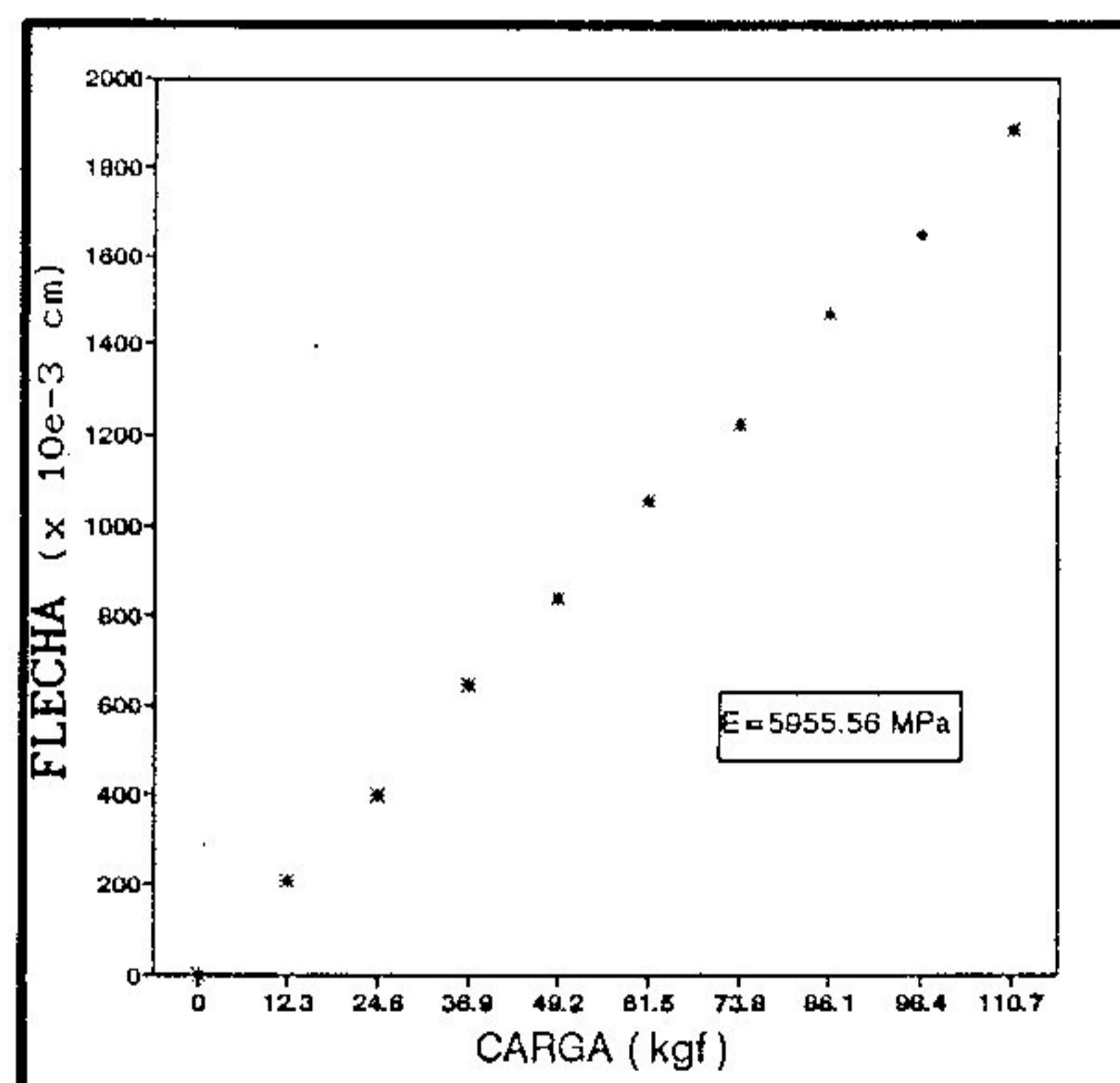
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	239
24.6	389
36.9	556
49.2	732
61.5	914
73.8	1092
86.1	1245
98.4	1438
110.7	1633
123	1806
135.3	2060
147.6	2259
159.9	2445



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	207
24.6	398
36.9	646
49.2	839
61.5	1056
73.8	1224
86.1	1468
98.4	1648
110.7	1885

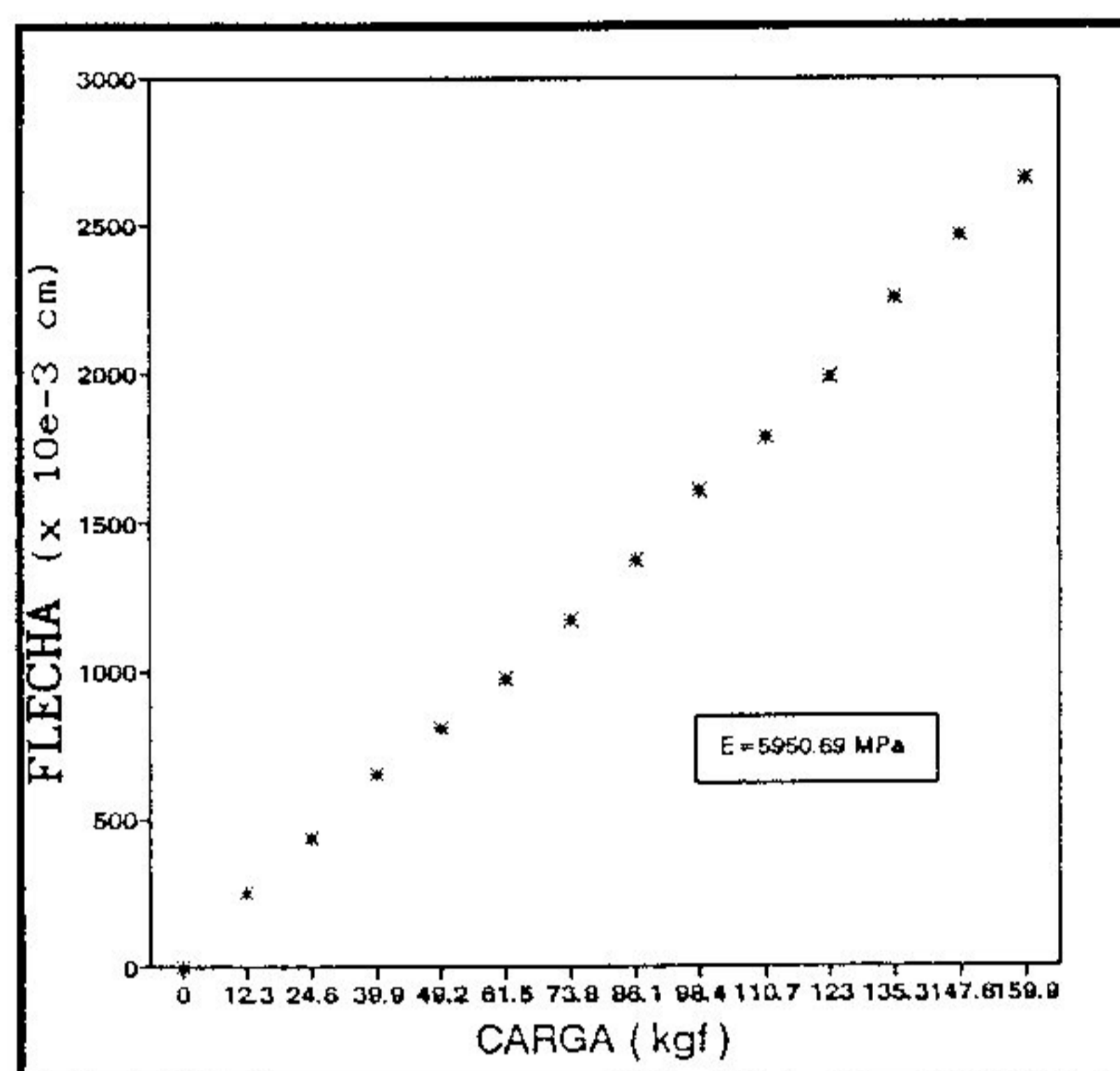


VIGA 10 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

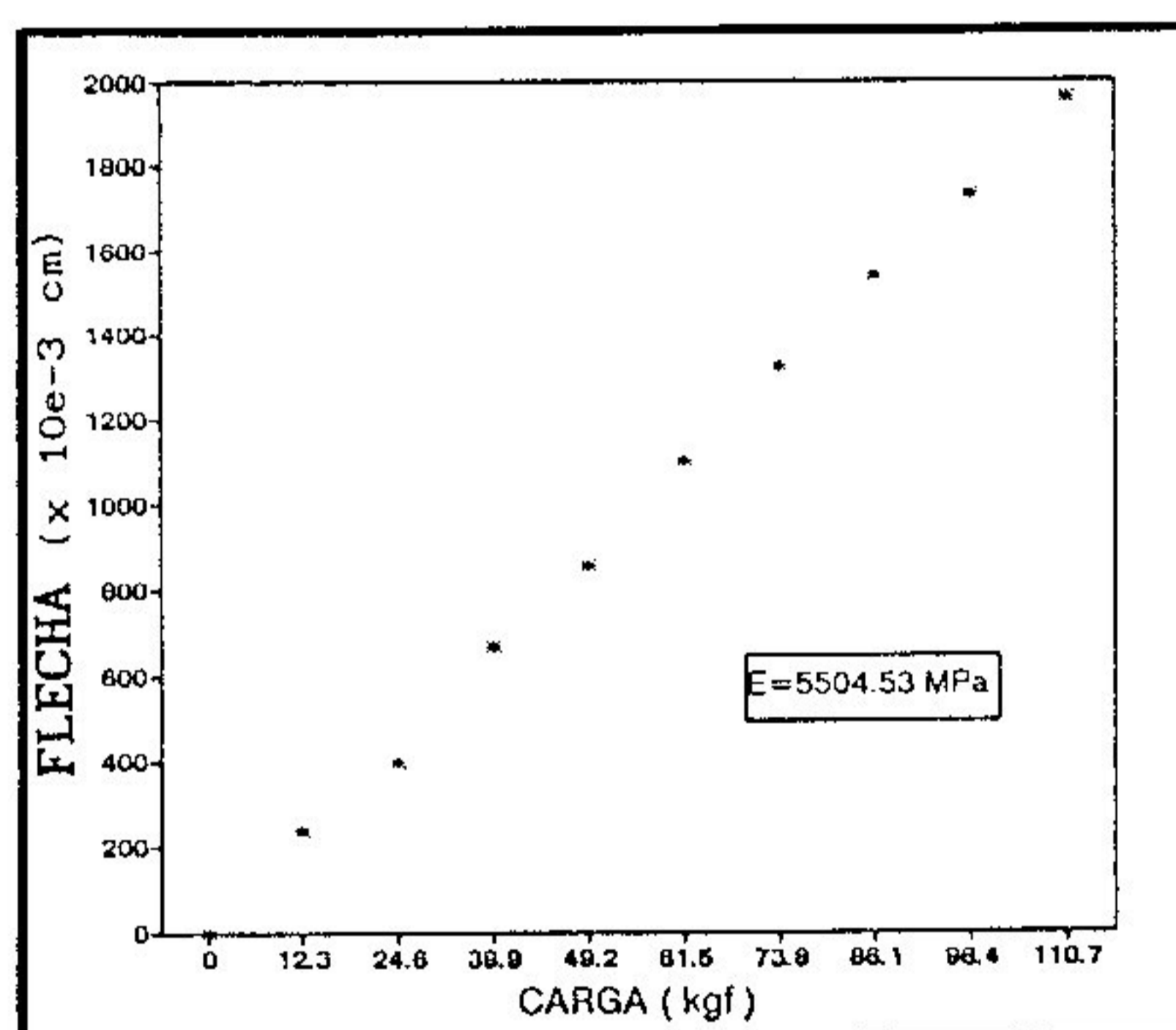
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	250
24.6	437
39.9	649
49.2	811
61.5	978
73.8	1172
86.1	1373
98.4	1606
110.7	1778
123	1983
135.3	2251
147.6	2461
159.9	2655



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	238
24.6	400
39.9	668
49.2	858
61.5	1103
73.8	1322
86.1	1541
98.4	1731
110.7	1960

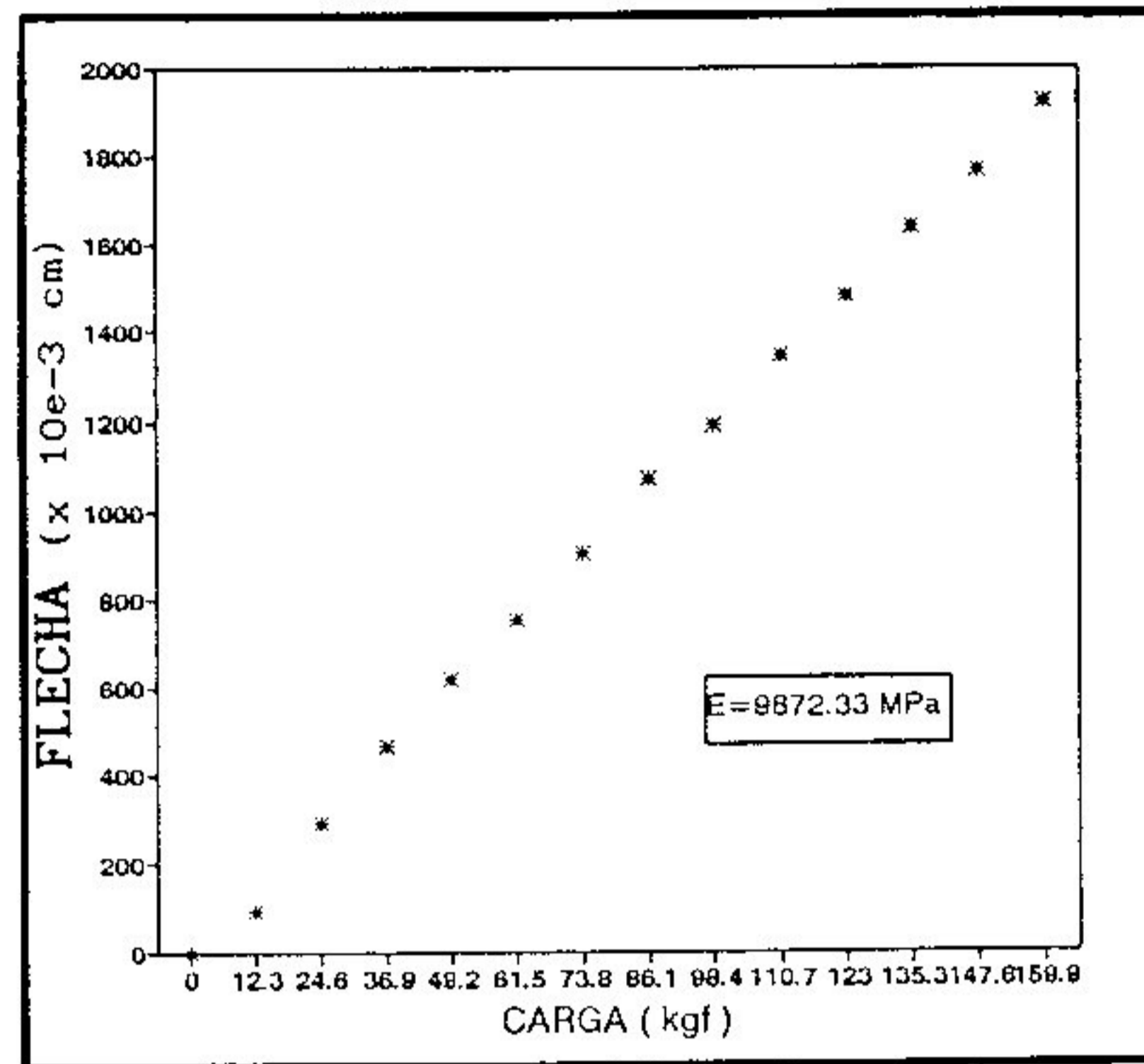


VIGA 11 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	93
24.6	292
36.9	465
49.2	618
61.5	754
73.8	905
86.1	1069
98.4	1189
110.7	1346
123	1481
135.3	1639
147.6	1764
159.9	1921

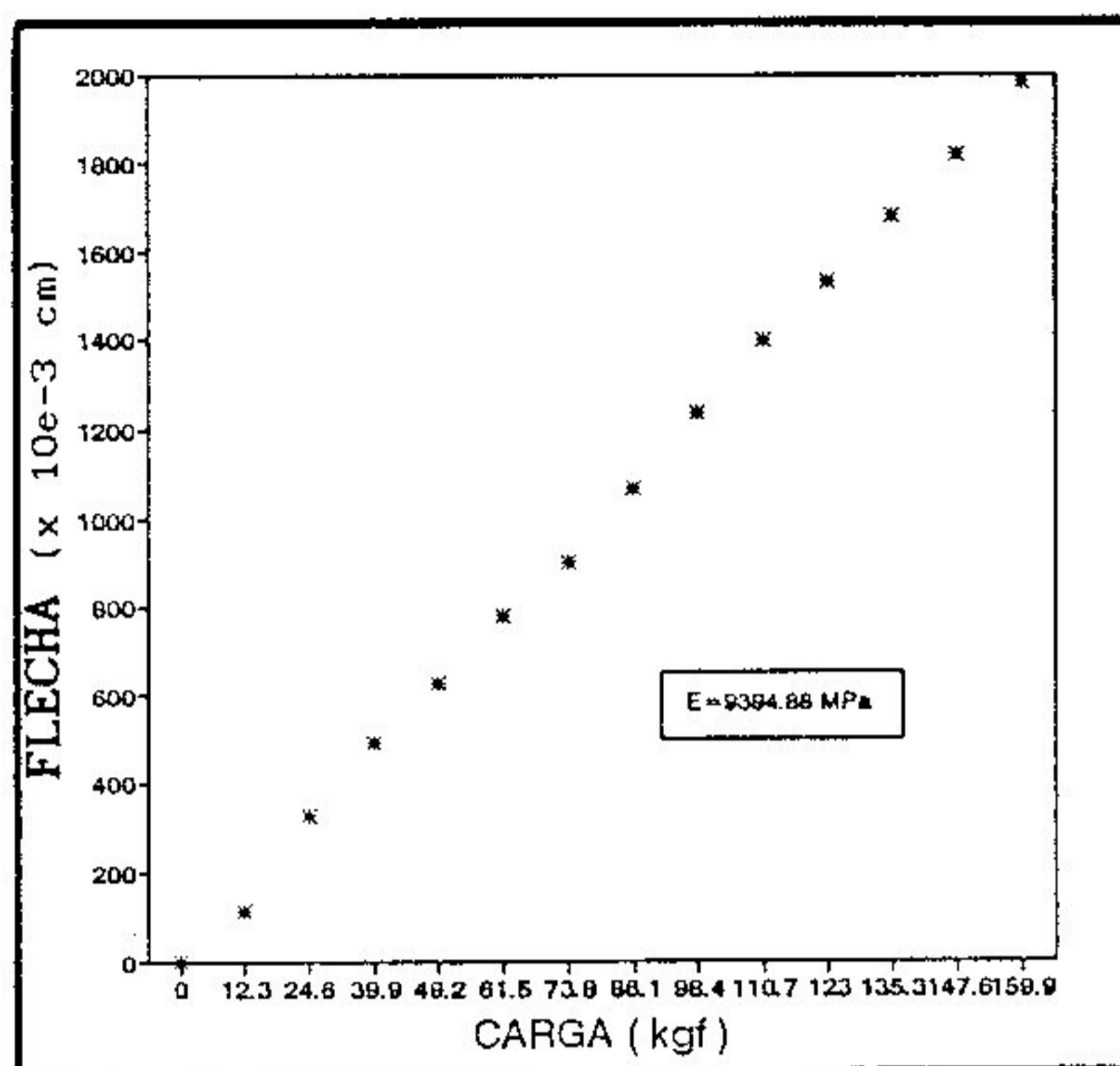


VIGA 11 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	111
24.6	330
39.9	492
49.2	629
61.5	780
73.8	901
86.1	1069
98.4	1237
110.7	1397
123	1531
135.3	1680
147.6	1821
159.9	1981

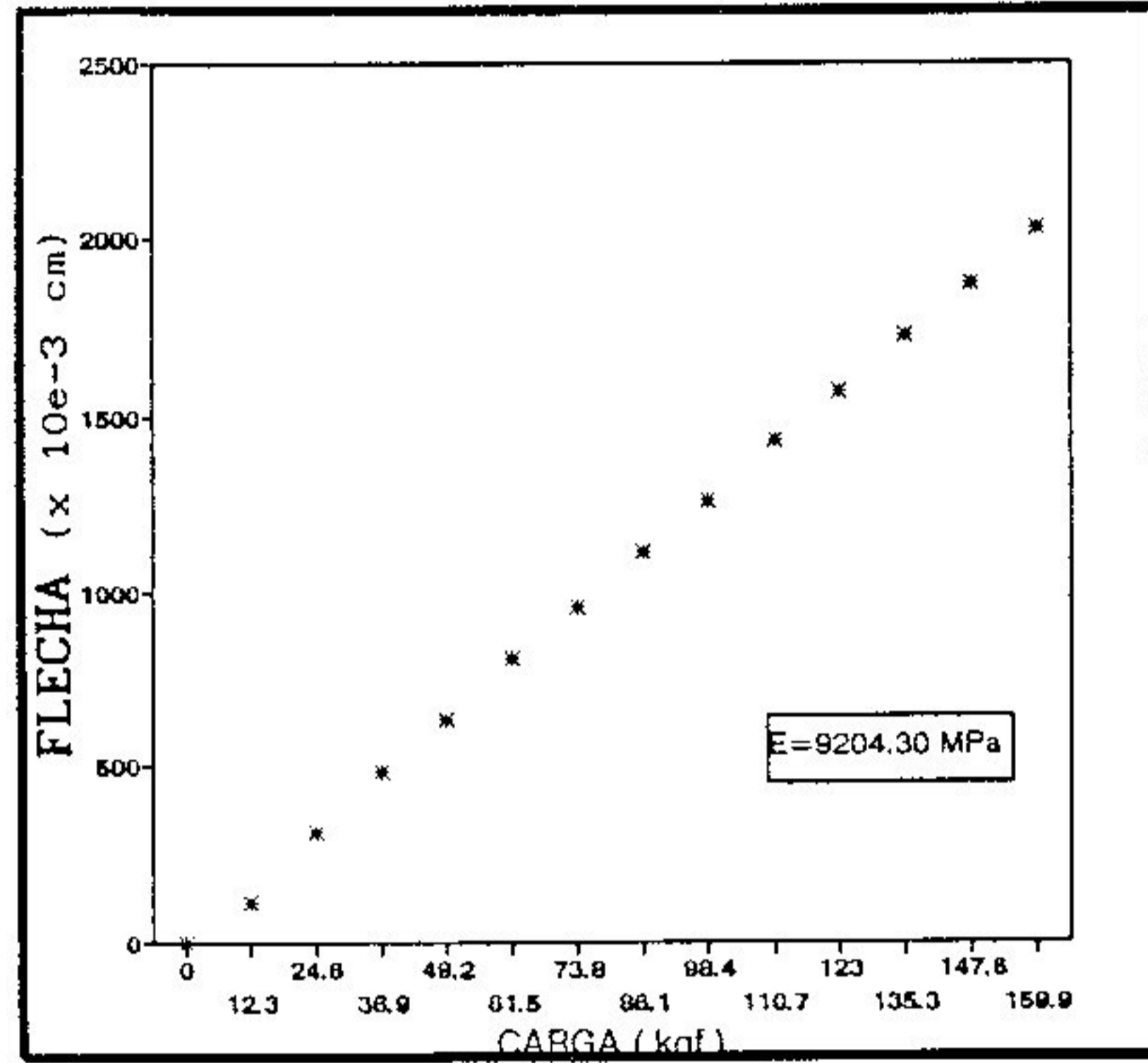


VIGA 12 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

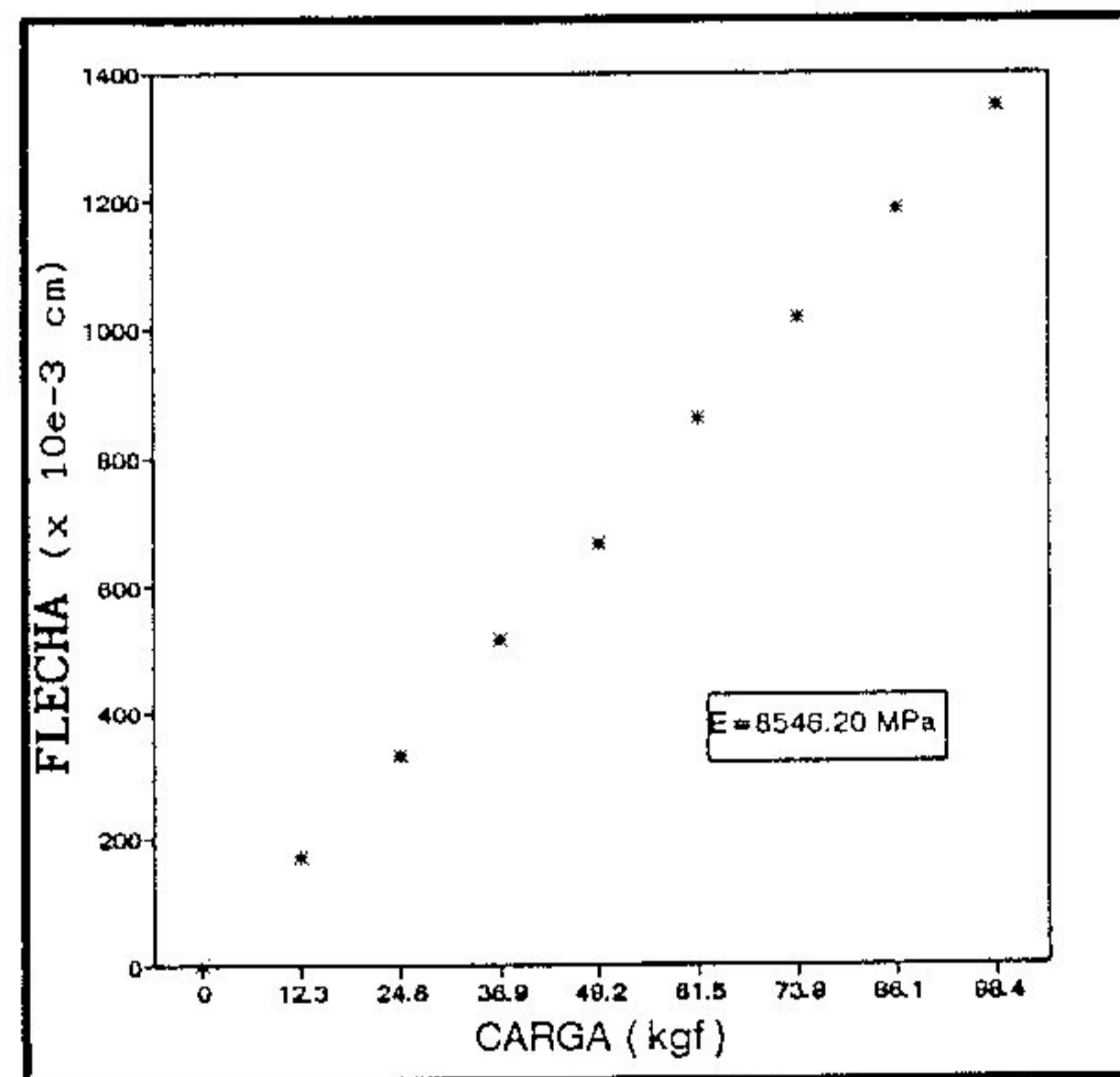
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	110
24.6	309
36.9	485
49.2	631
61.5	809
73.8	954
86.1	1119
98.4	1260
110.7	1430
123	1567
135.3	1724
147.6	1867
159.9	2022



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	170
24.6	330
36.9	514
49.2	666
61.5	860
73.8	1015
86.1	1185
98.4	1347

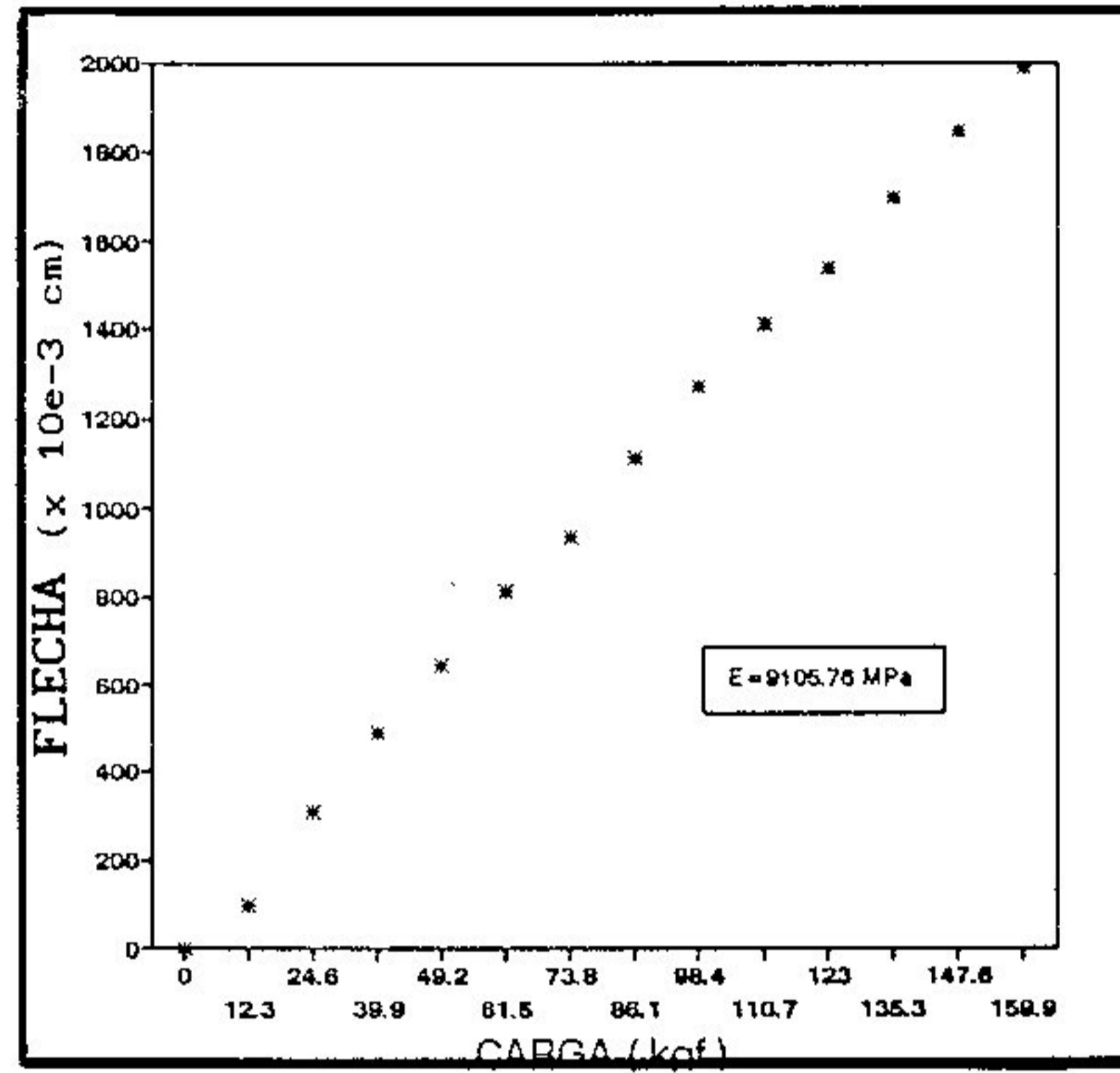


VIGA 12 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

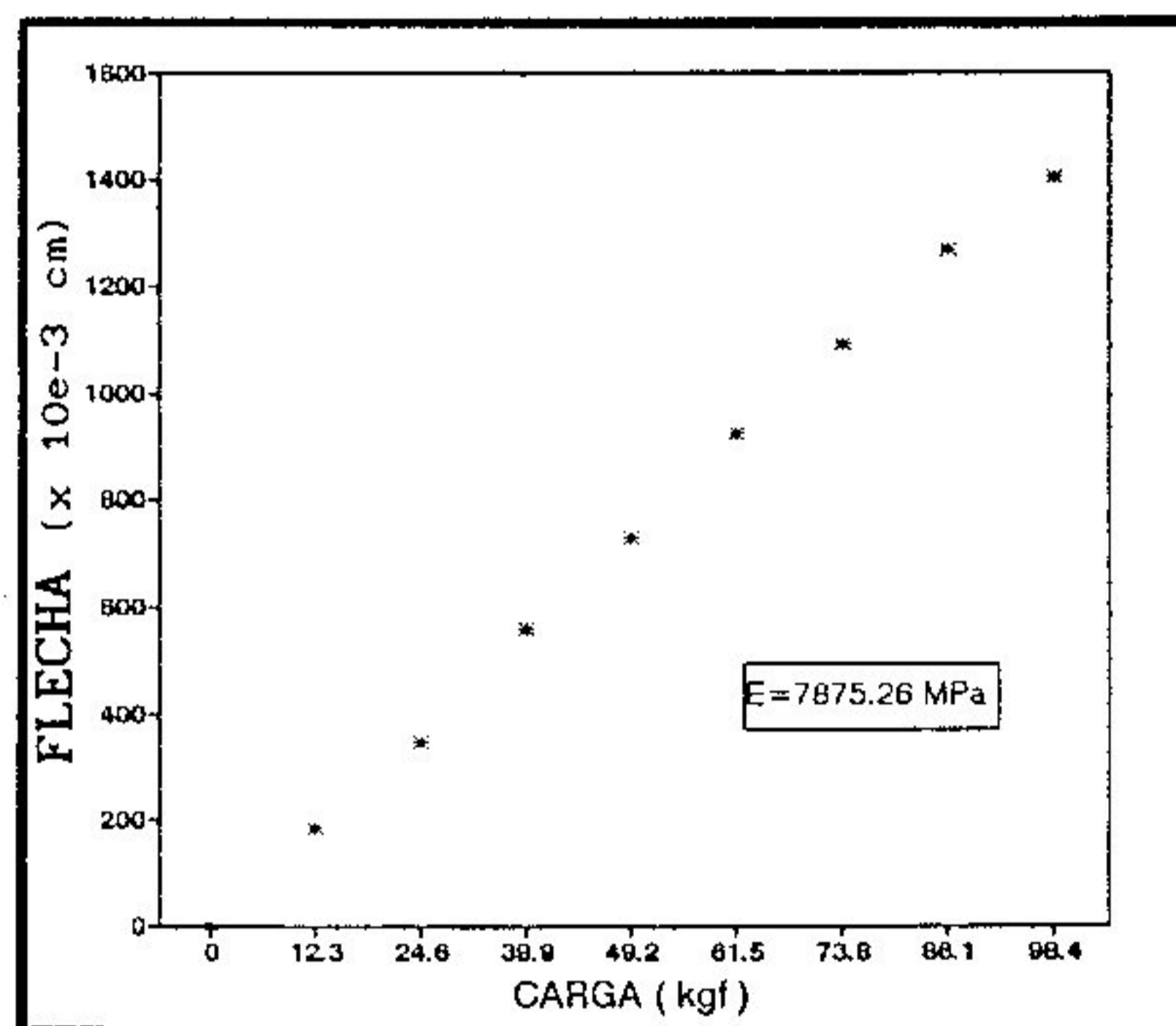
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	96
24.6	309
39.9	490
49.2	643
61.5	813
73.8	937
86.1	1113
98.4	1270
110.7	1412
123	1541
135.3	1696
147.6	1845
159.9	1989



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	182
24.6	346
39.9	560
49.2	728
61.5	923
73.8	1093
86.1	1265
98.4	1405

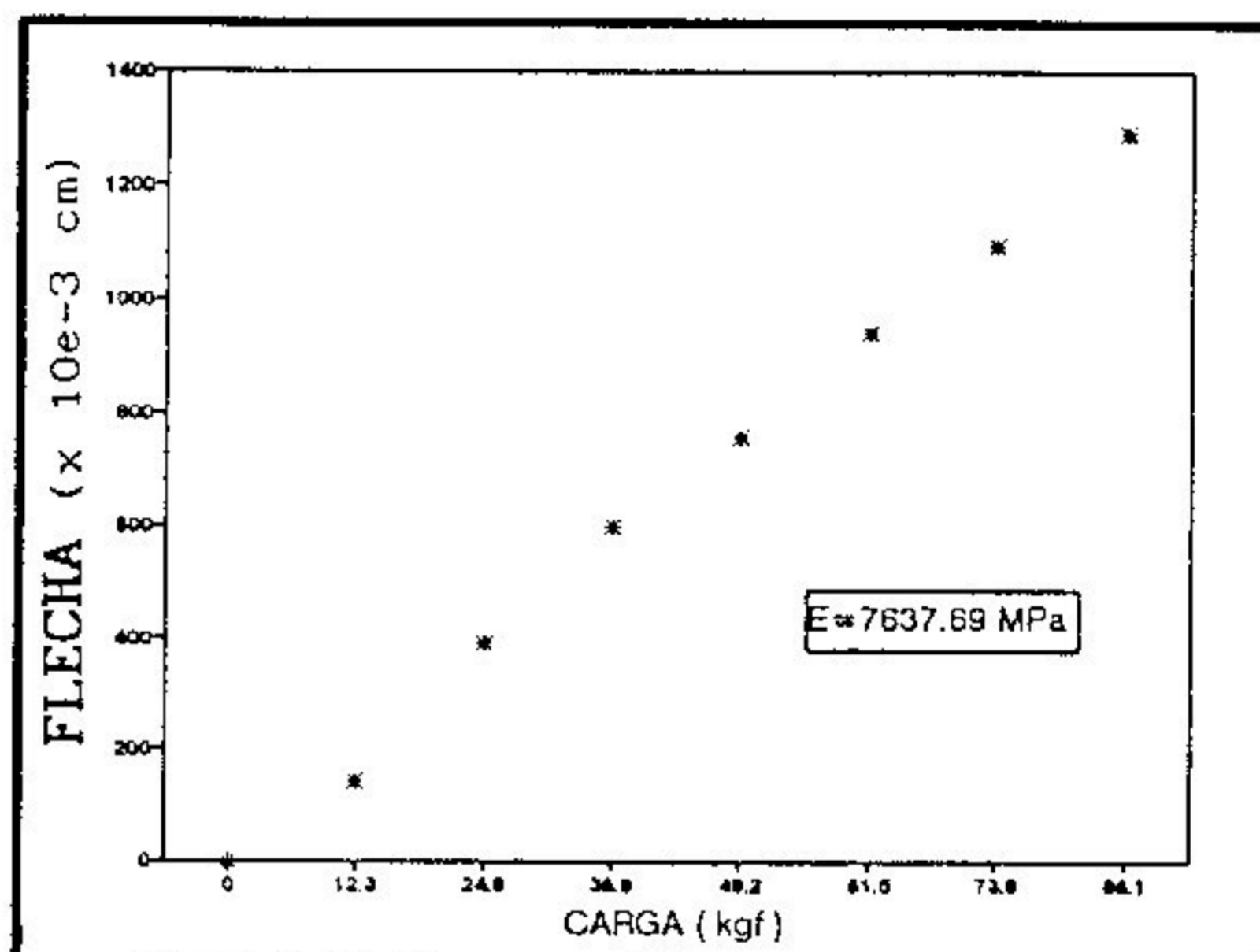


VIGA 14 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

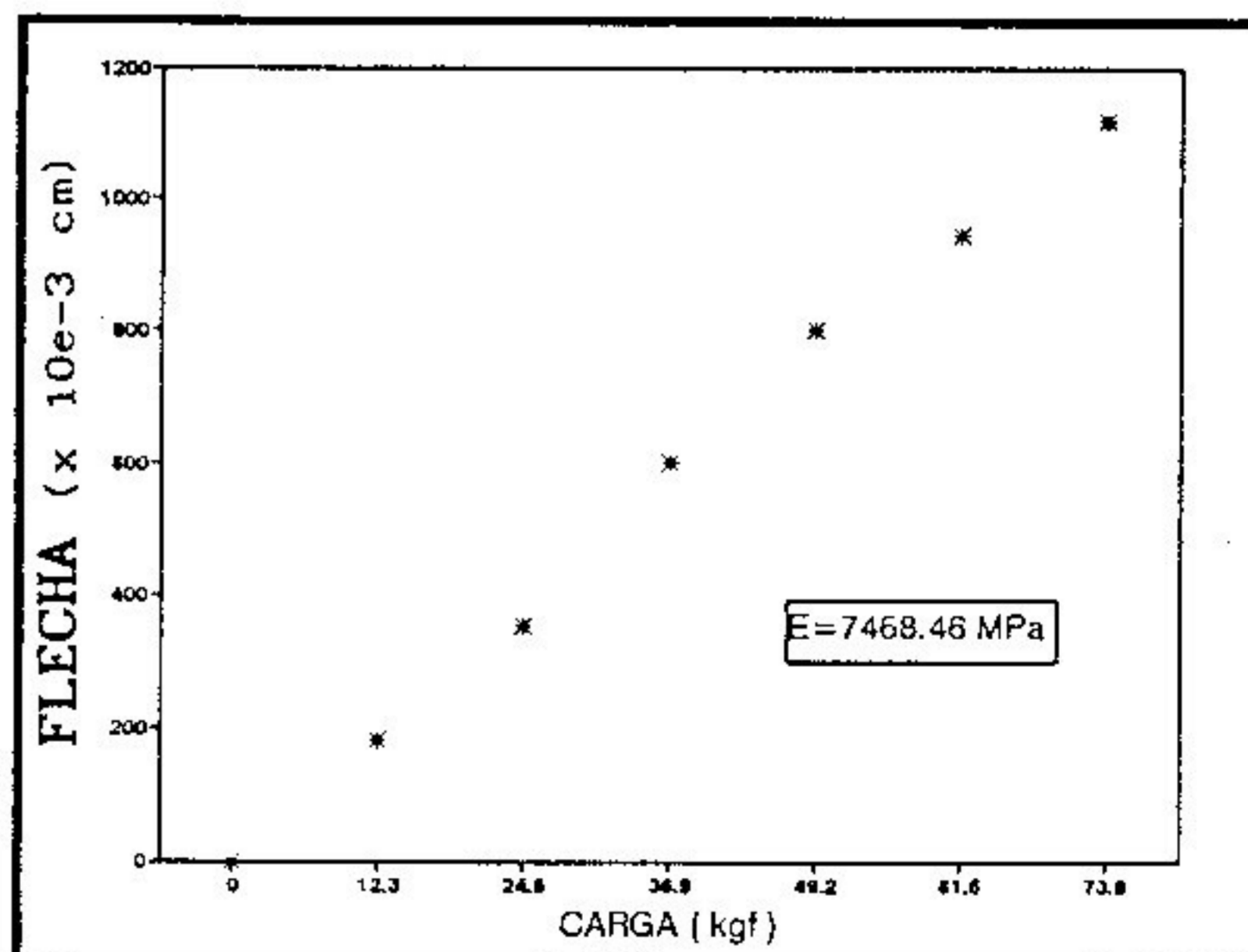
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	140
24.6	389
36.9	599
49.2	755
61.5	941
73.8	1095
86.1	1293



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	182
24.6	354
36.9	599
49.2	801
61.5	944
73.8	1120

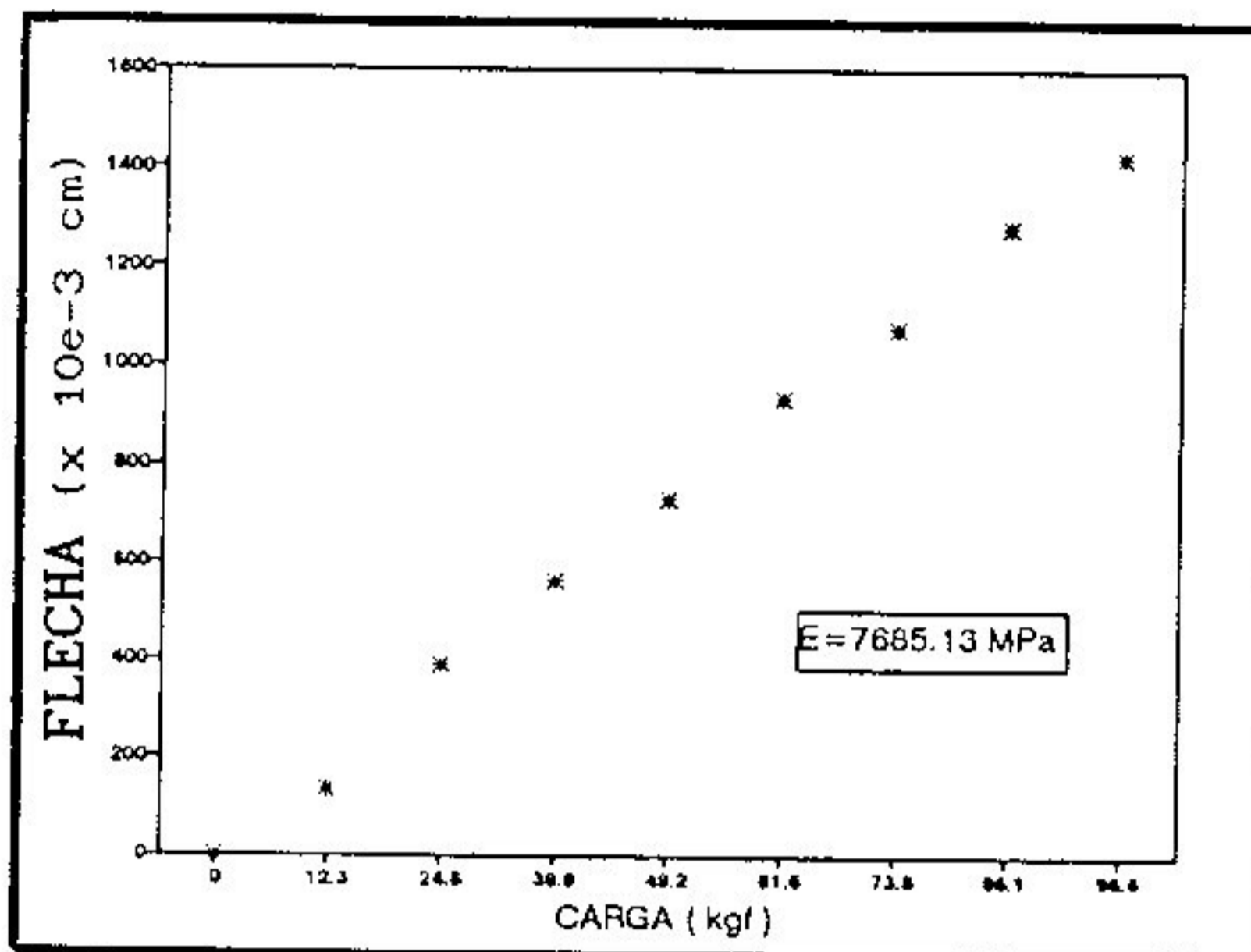


VIGA 14 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

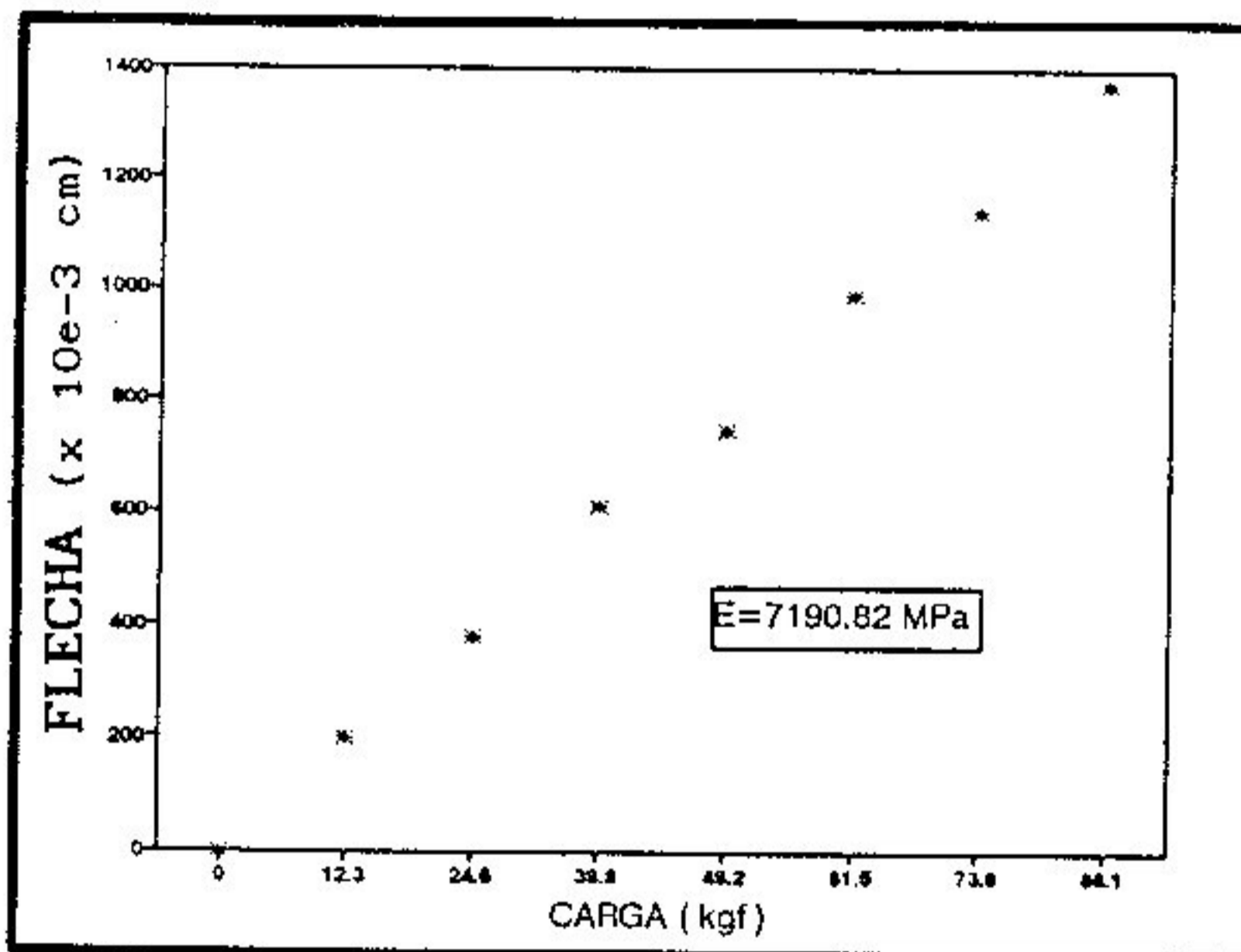
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	134
24.6	386
39.9	562
49.2	732
61.5	933
73.8	1074
86.1	1279
98.4	1422



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	197
24.6	377
39.9	607
49.2	745
61.5	987
73.8	1137
86.1	1372

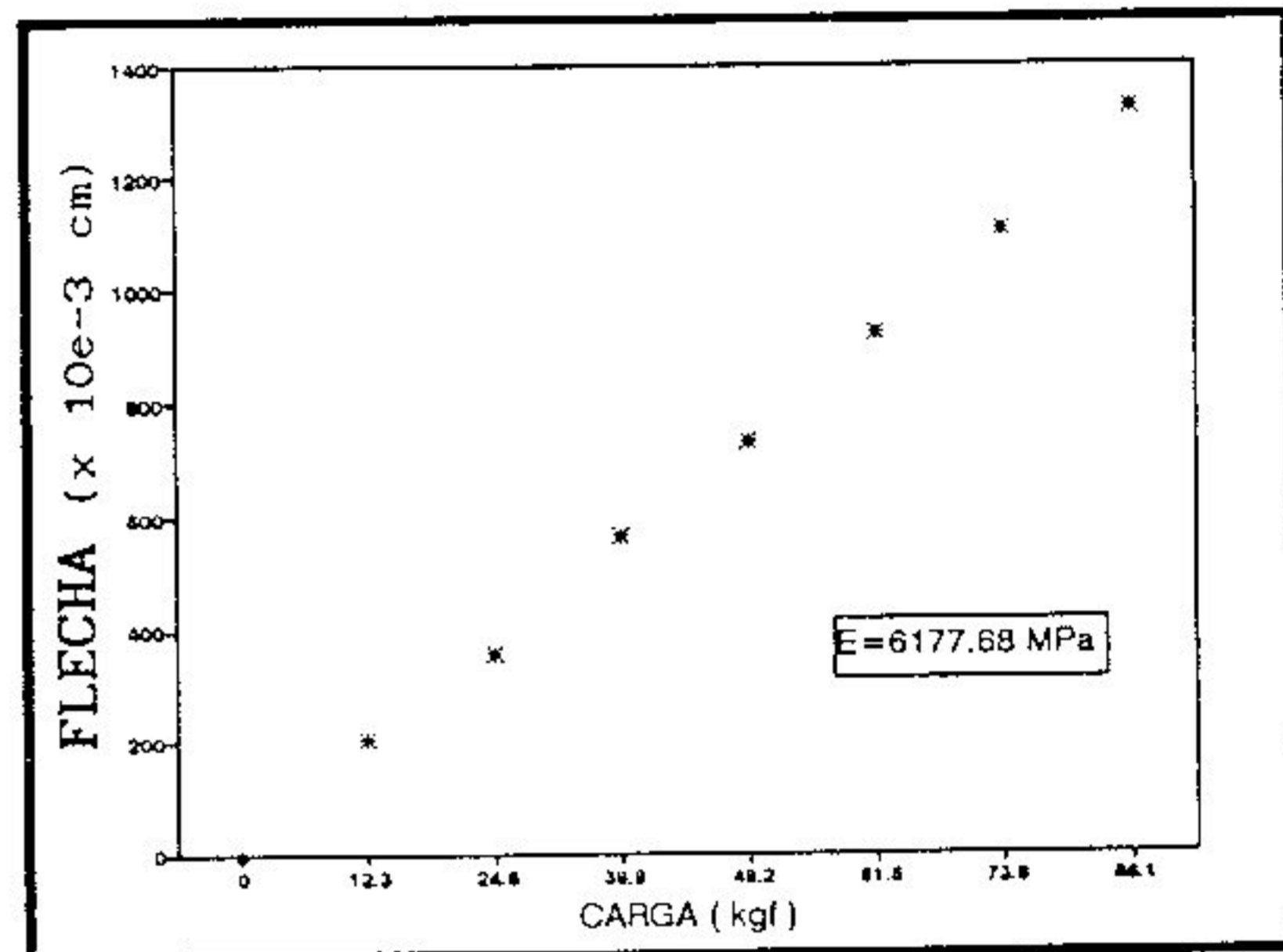


VIGA 16 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

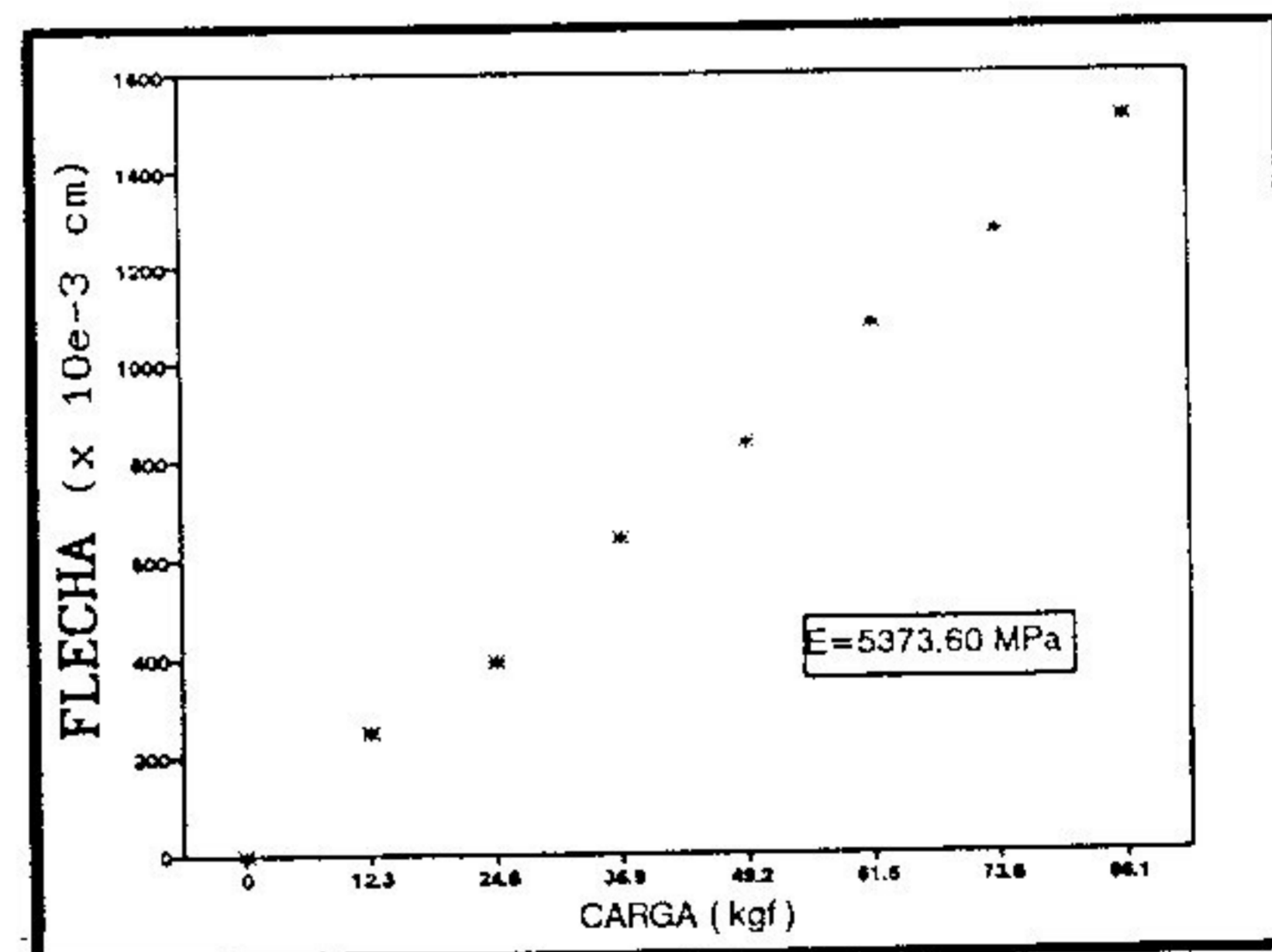
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	203
24.6	356
39.9	565
49.2	730
61.5	921
73.8	1102
86.1	1320



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	247
24.6	392
36.9	642
49.2	836
61.5	1080
73.8	1271
86.1	1506

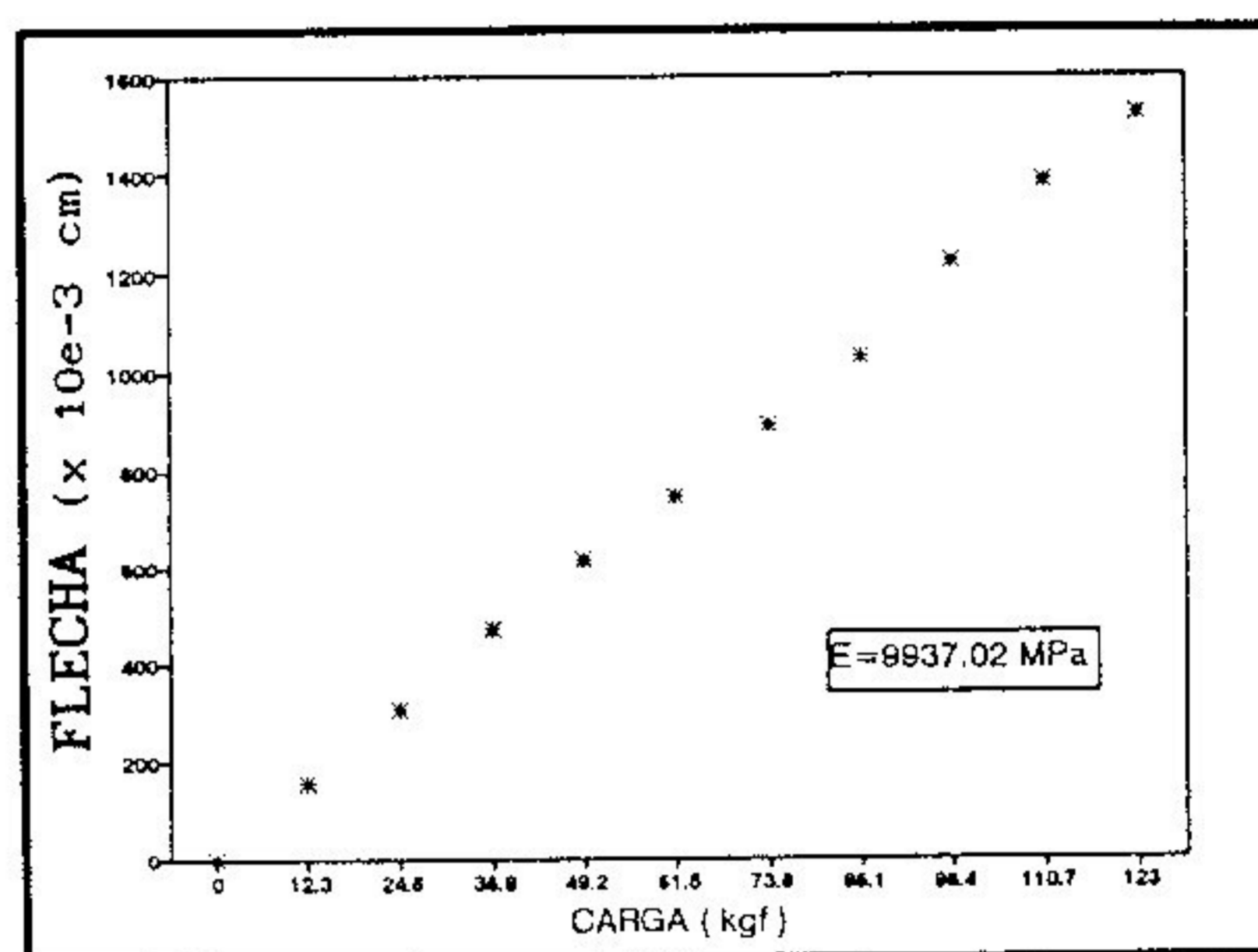


VIGA 17 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

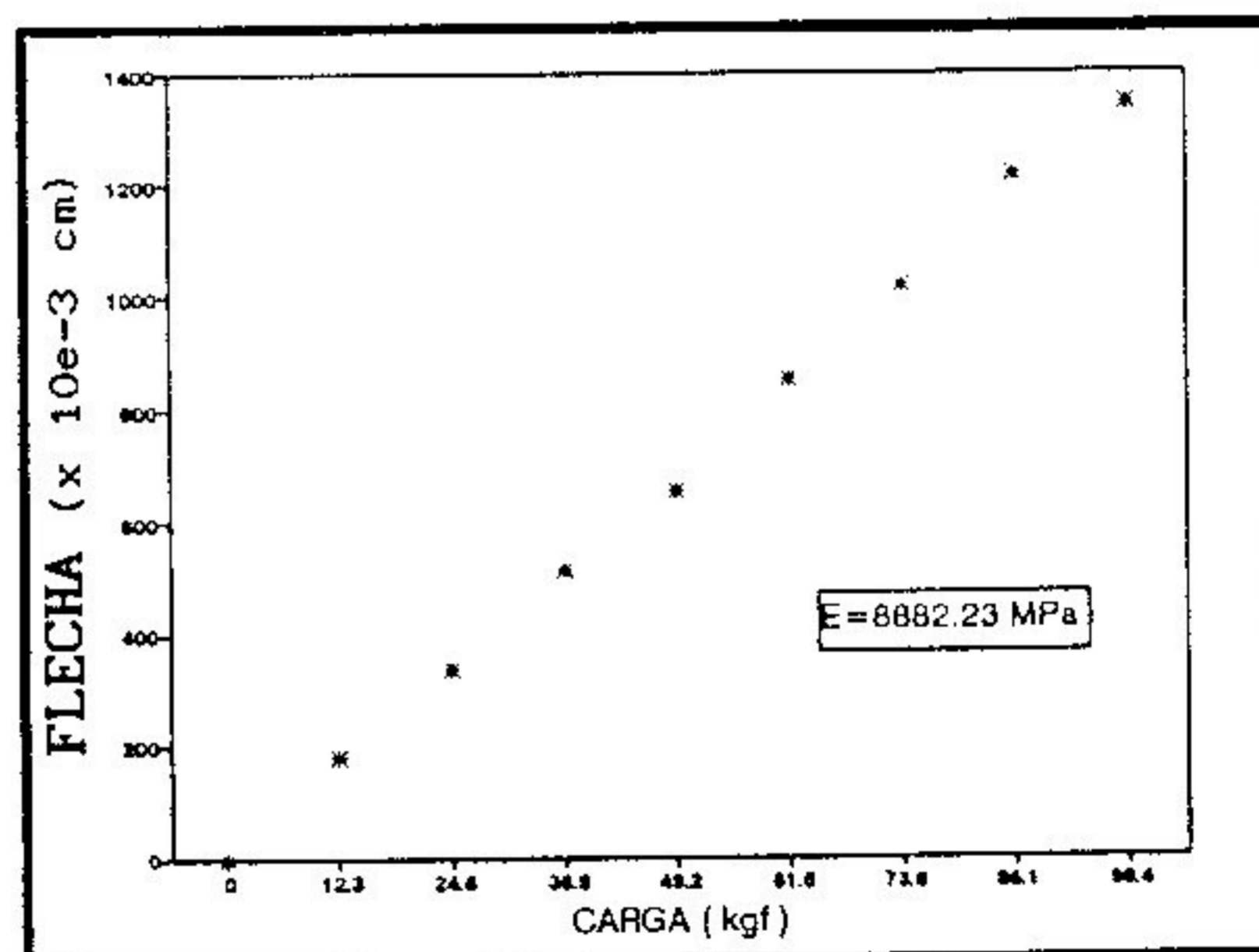
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	153
24.6	305
36.9	470
49.2	614
61.5	743
73.8	893
86.1	1030
98.4	1222
110.7	1383
123	1521



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	178
24.6	335
36.9	514
49.2	653
61.5	851
73.8	1018
86.1	1214
98.4	1341

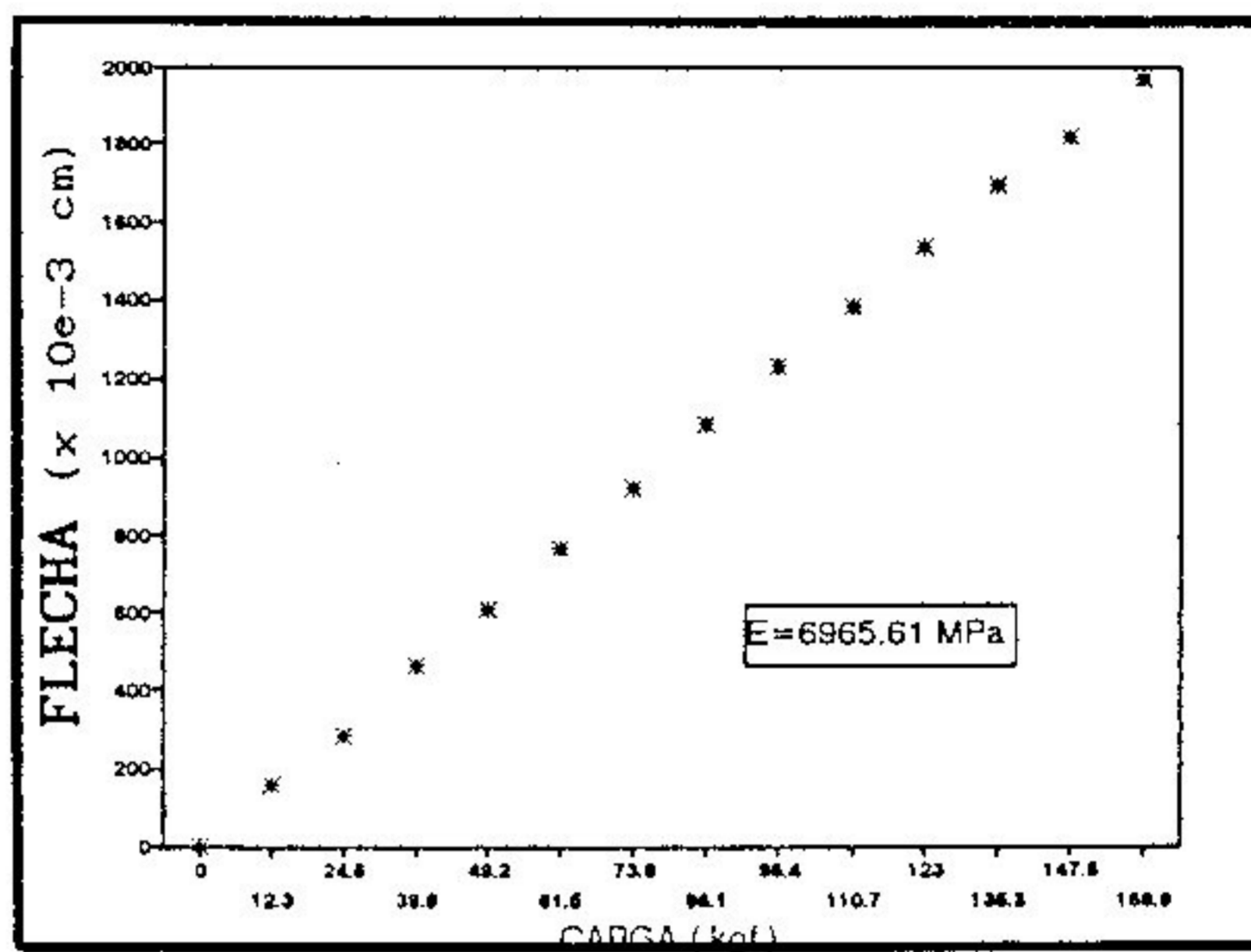


VIGA 17 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

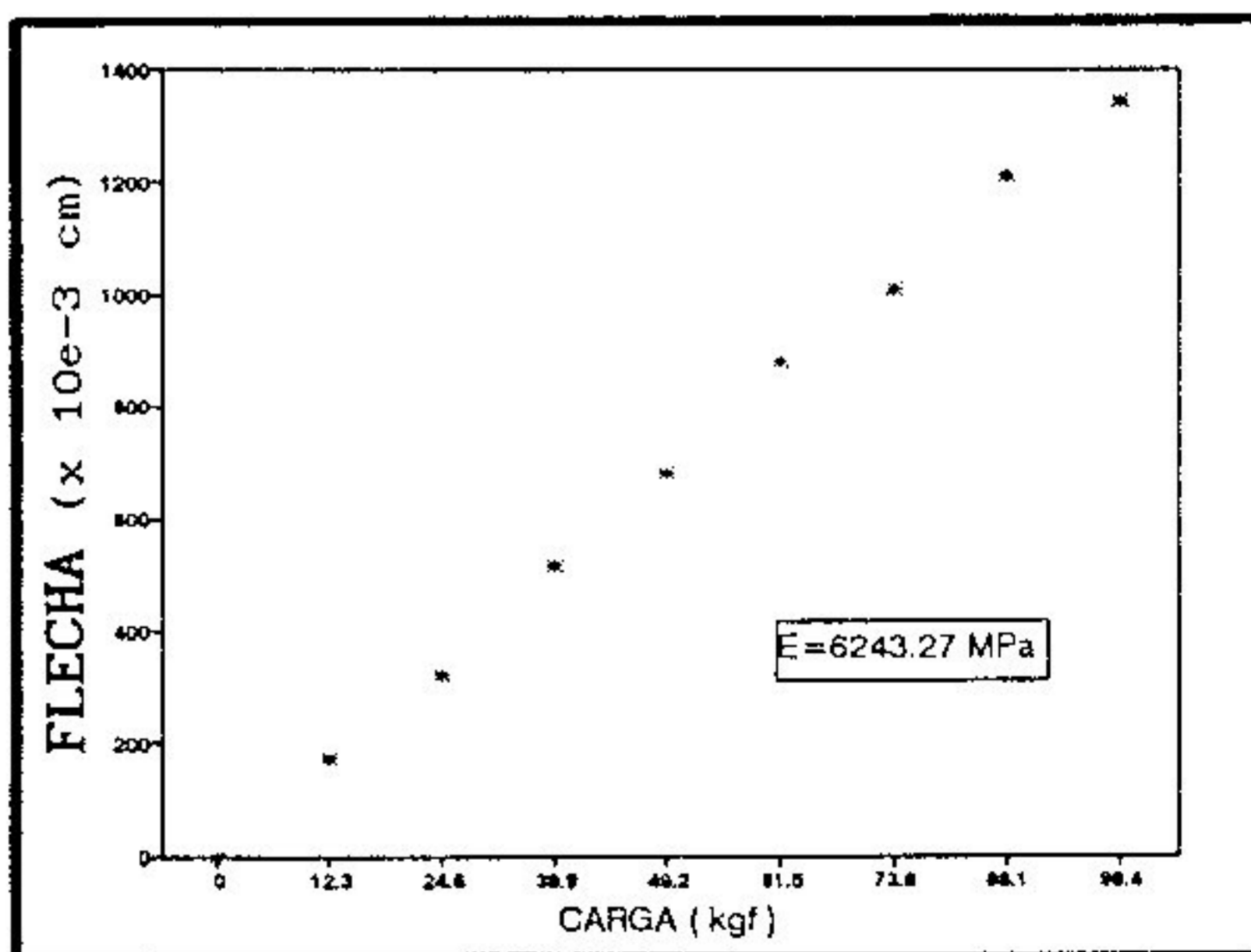
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	154
24.6	284
39.9	464
49.2	609
61.5	764
73.8	922
86.1	1082
98.4	1233
110.7	1381
123	1533
135.3	1695
147.6	1818
159.9	1970



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	174
24.6	321
39.9	514
49.2	680
61.5	880
73.8	1007
86.1	1211
98.4	1342

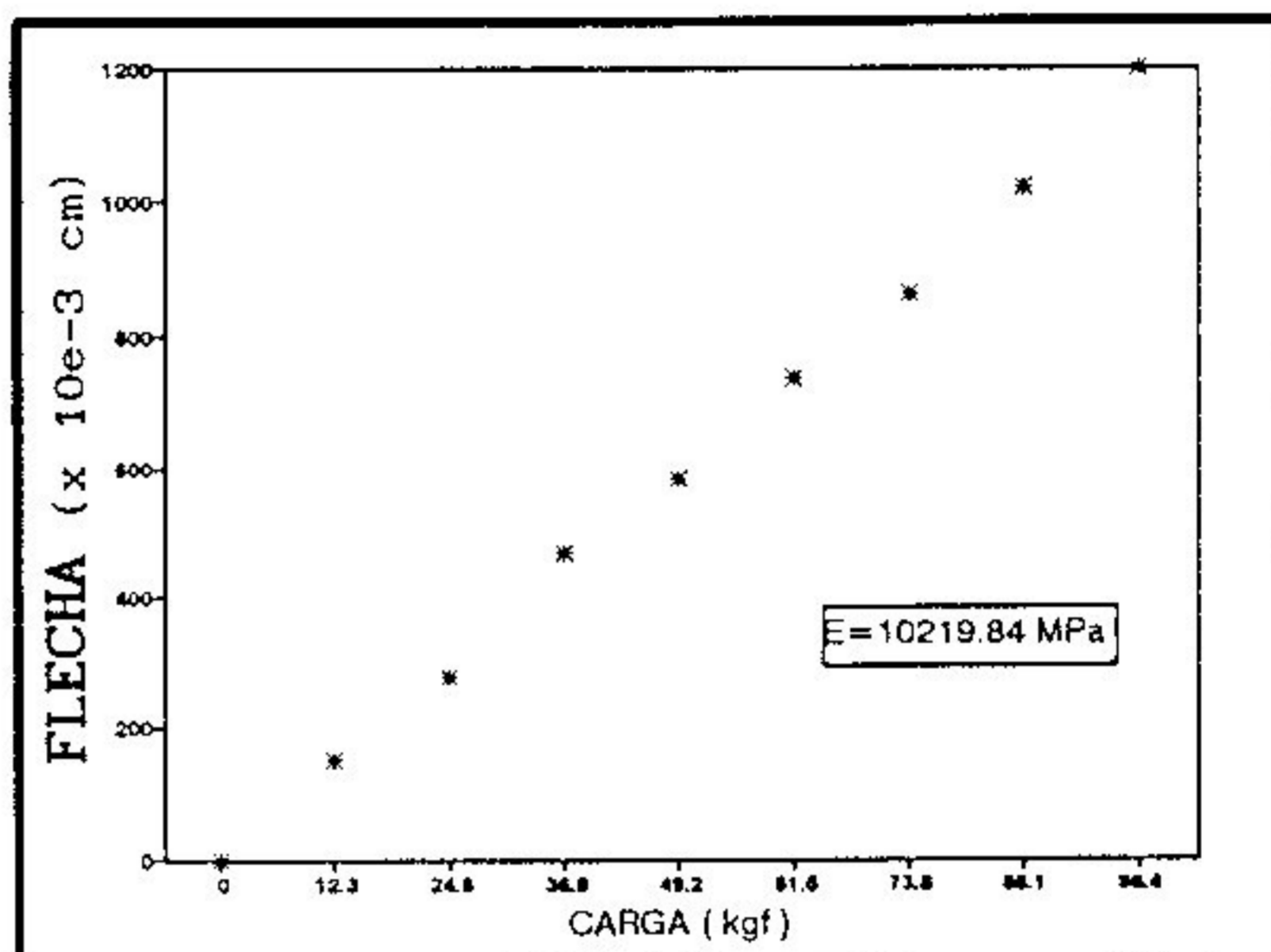


VIGA 18 - L/D = 21

A - DIRECAO 1

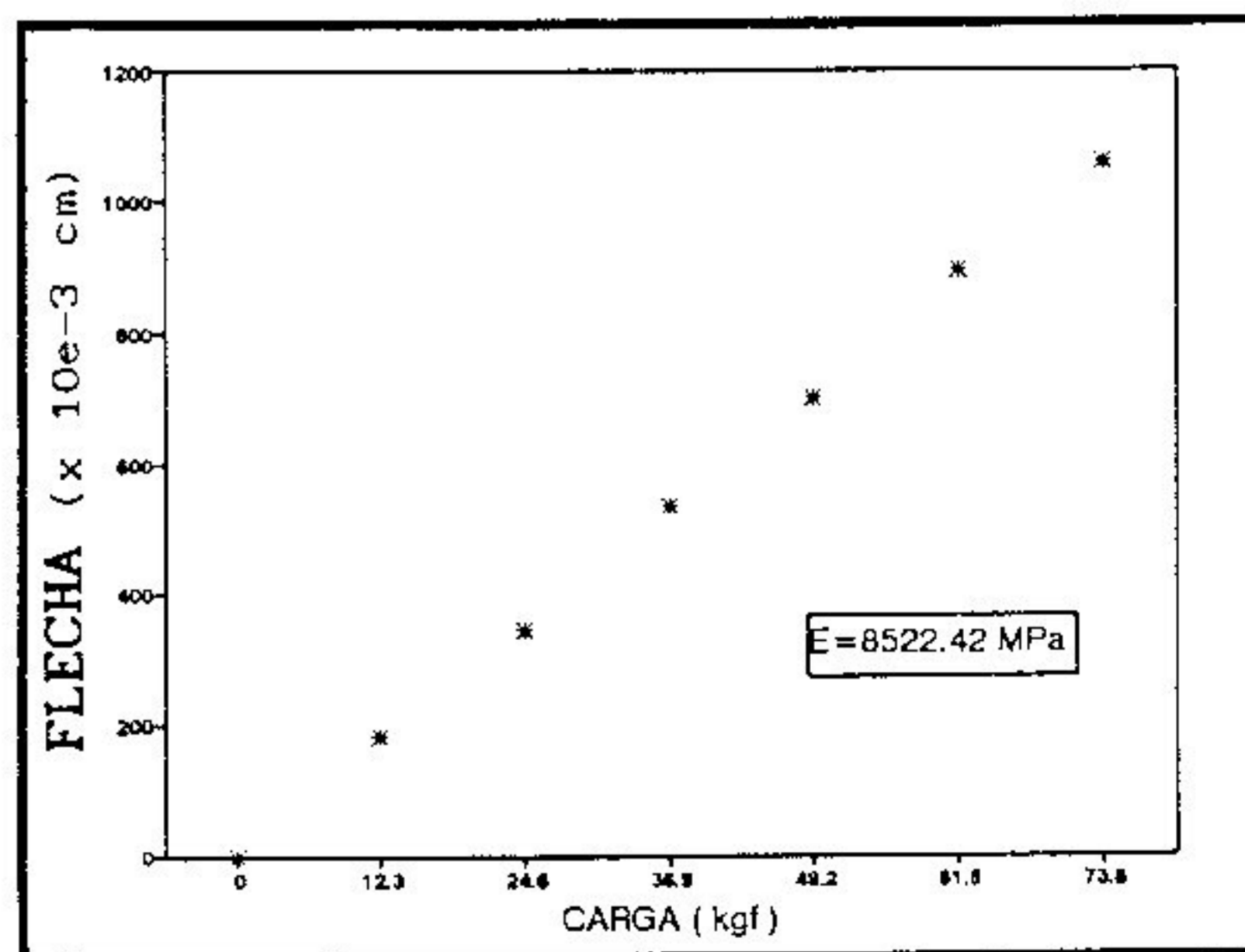
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	152
24.6	278
36.9	471
49.2	583
61.5	736
73.8	865
86.1	1020
98.4	1199



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	182
24.6	346
36.9	536
49.2	701
61.5	893
73.8	1059

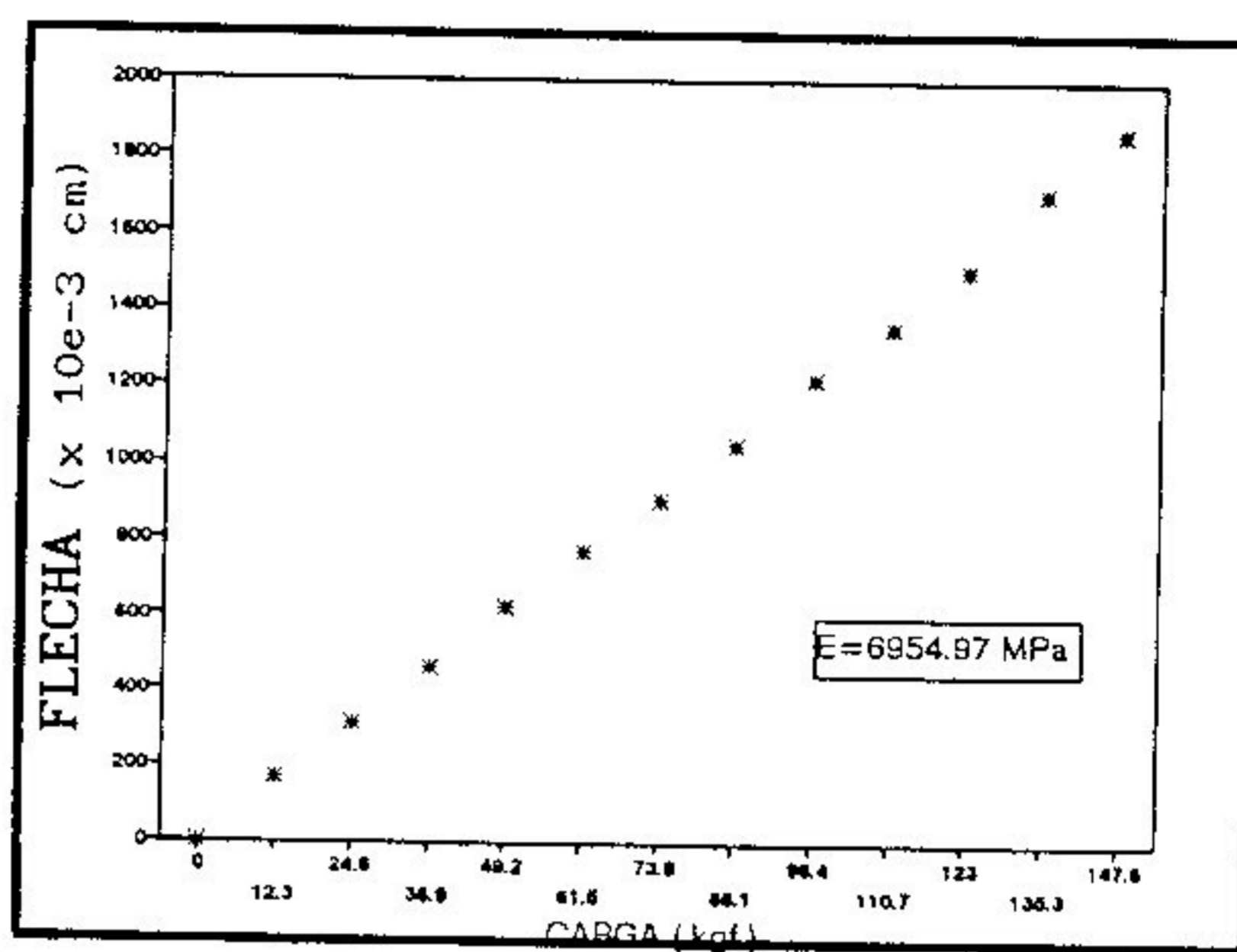


VIGA 18 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

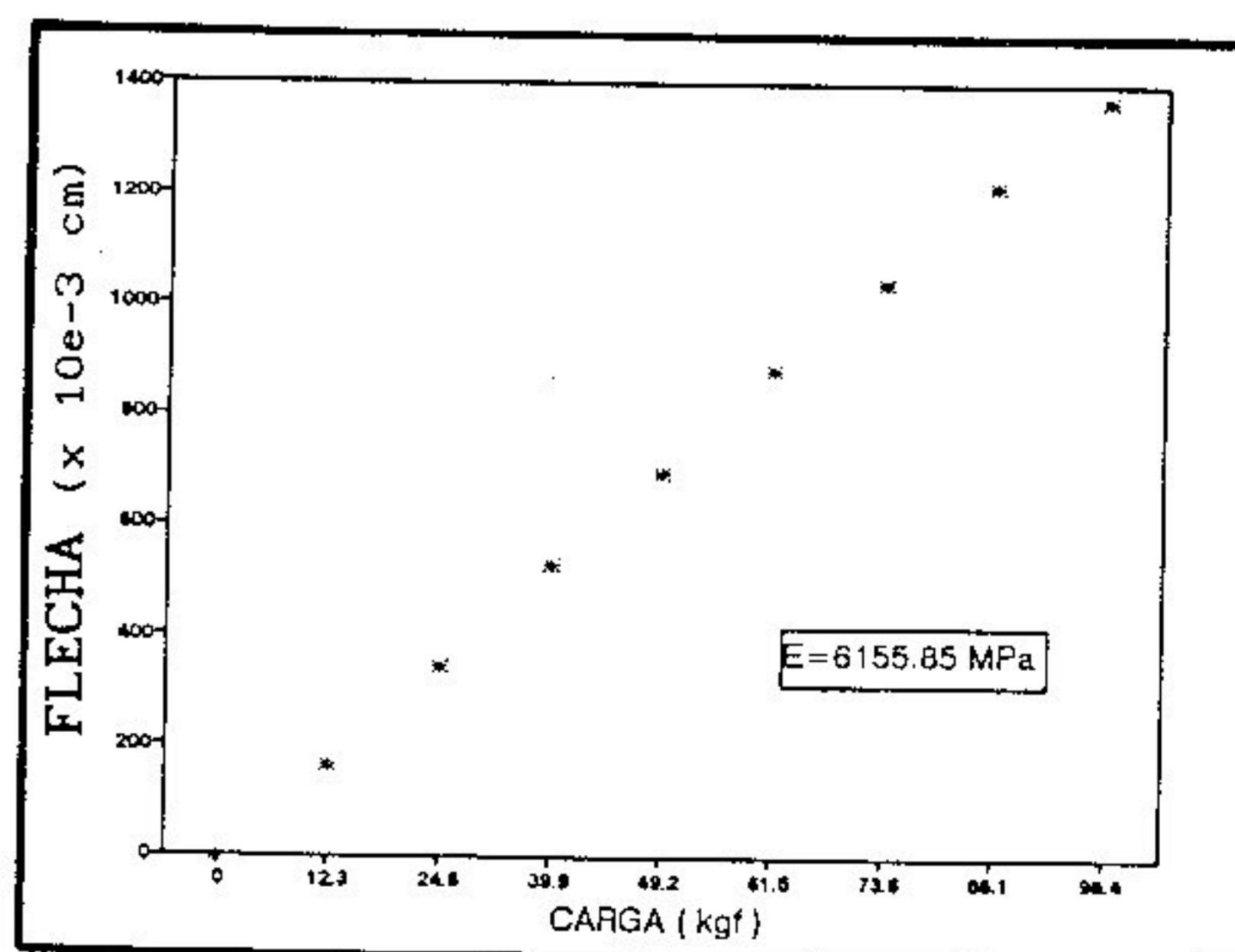
SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	168
24.6	309
36.9	461
49.2	621
61.5	768
73.8	906
86.1	1049
98.4	1218
110.7	1355
123	1506
135.3	1706
147.6	1867



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	162
24.6	342
39.9	527
49.2	691
61.5	880
73.8	1037
86.1	1214
98.4	1368

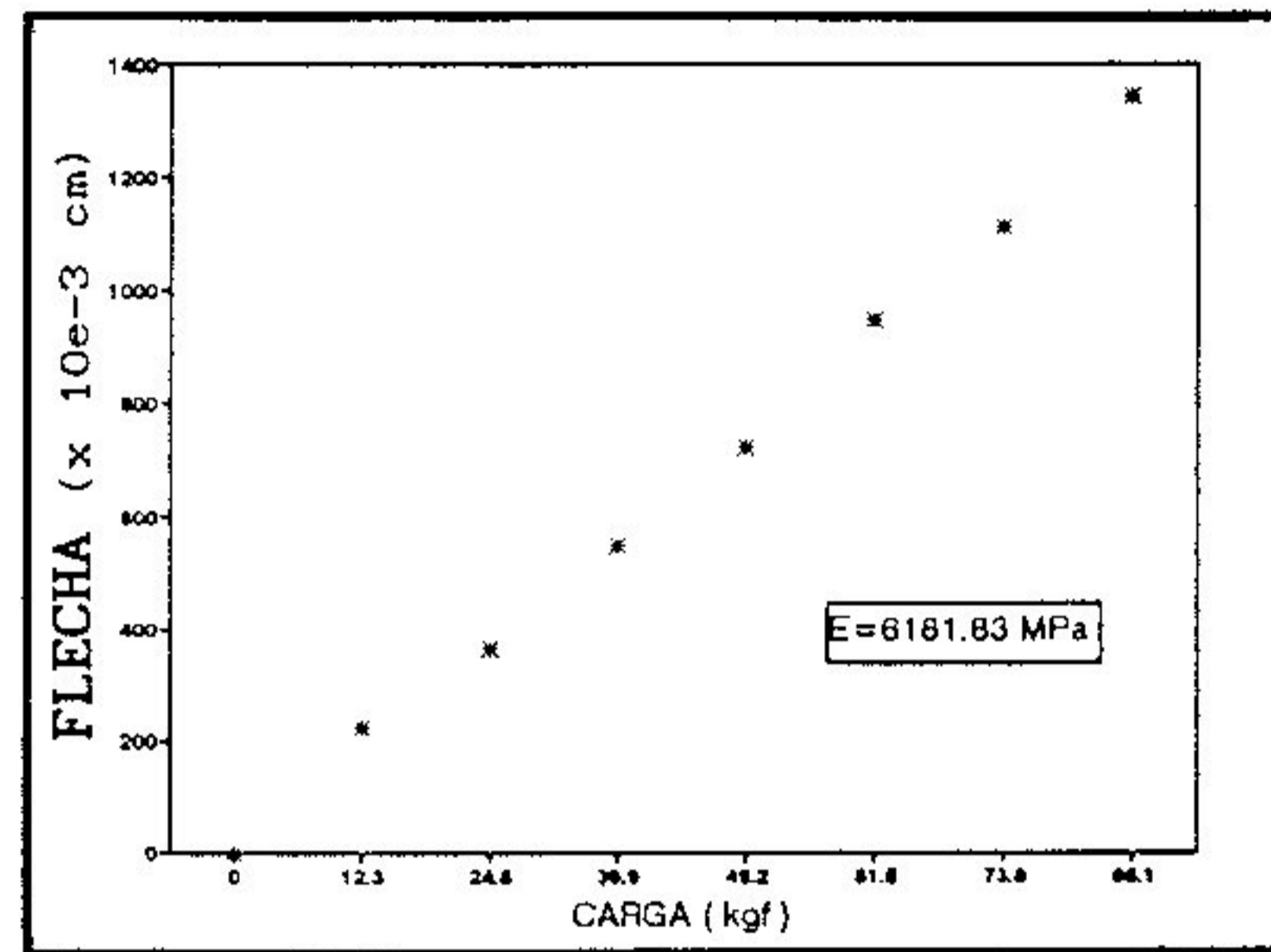


VIGA 20 - L/D = 21

B - DIRECAO 2

SEM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	221
24.6	362
39.9	549
49.2	721
61.5	943
73.8	1109
86.1	1341



COM EMENDA DENTEADA

CARGA (Kgf)	FLECHA (x 10e-3 cm)
0	0
12.3	211
24.6	410
39.9	622
49.2	822
61.5	1058
73.8	1234

